

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION GENERALE.....	1

PREMIERE PARTIE

LOCALISATION DE LA ZONE ET DEMARCHES DE RECHERCHES

CHAPITRE I. LOCALISATION DE LA ZONE DE RECHERCHE.....	4
CHAPITRE II. DEMARCHES DE RECHERCHES	7
CHAPITRE III. LES TRAVAUX DE LABORATOIRE	15

DEUXIEME PARTIE

LA ZONE RURALE D'ARIVONIMAMO : UN MILIEU NATUREL PLUS OU MOINS DEGRADE

CHAPITRE IV. UN ENVIRONNEMENT SENSIBLE AUX PHENOMENES EROSIFS	20
CHAPITRE V. L'HOMME : AGENT MORPHOGENIQUE ET DE DYNAMIQUE DIRECT DU PAYSAGE	39
CHAPITRE VI. LES ASPECTS DE L'EROSION SUR LES VERSANTS DE LA ZONE RURALE D'ARIVONIMAMO.....	47

TROISIEME PARTIE

L'EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES VERSANTS ET LES IMPACTS DE L' L'EROSION HYDRIQUE DANS LA ZONE DE RECHERCHE.

CHAPITRE VII. UNE EVOLUTION NETTE AU NIVEAU DES VERSANTS.....	52
CHAPITRE VIII. LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	65
CHAPITRE IX. LES SOLUTIONS PRISES PAR LES PAYSANS POUR LA SAUVEGARDEDE DU MILIEU NATUREL.....	71
CONCLUSION GENERALE.....	8

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Localisation de la zone rurale d'Arivonimamo.....	5
Figure 2 : Occupation du sol en 1990 et en 2000.....	6
Figure3 : Carte des itinéraires des travaux de terrain.....	12
Figure 4 : Localisation des points d'observations sur les terrains.....	14
Figure 5 : Courbes cumulatives (4 fractions granulométriques) des profils sous-forêts....	17
Figure 6 : Courbes cumulatives (4 fractions granulométriques) des profils sous-savanes et reboisement.....	17
Figure 7 : Schéma récapitulatif des étapes du travail.....	18
Figure 8 : Le relief avec le profil topographique suivant le transect Ouest-Est. de la zone d'Arivonimamo.....	21
Figure 9 : Vue en 3D du relief de la zone de recherche.....	22
Figure 10 : Carte des pentes de la zone de recherche.....	23
Figure 11 : Les formations géologiques de la zone rurale d'Arivonimamo.....	25
Figure 12 : carte pédologique de la zone rurale d'Arivonimamo.....	28
Figure 13 : Profils pédologiques des zones de forêt naturelle, de boisement d'Eucalyptus et des zones herbeuses.....	30
Figure 14 : Couverture forestière d'Arivonimamo en 2016.....	32
Figure 15 : Courbe ombrothermique d'Arivonimamo de 2004 à 2014.....	34
Figure 16 : Bilan hydrique de la zone rurale d'Arivonimamo (2004-2014).....	35
Figure 17 : Quantité pluviométrique annuelle de 2004-2014.....	37
Figure 18 : Courbes des moyennes mobiles des précipitations (2004-2014).....	37
Figure 19 : Evolution de la température moyenne mensuelle d'Arivonimamo entre	

(1951-1980) et (2004 -2014).....	38
Figure 20 : Répartition et la densité de la population en 2014.....	40
Figure 21 : Concentration de la population dans la zone de recherche.	41
Figure 22 : Pyramide des âges de la population (2014).....	42
Figure 23 : Le rapport des facteurs de la régression de la forêt	43
Figure 24 : Schéma explicatif de la genèse de l'érosion en Lavaka sur le versant.....	50
Figure 25 : Distribution pente – longueur de de ravinement.....	53
Figure 26 : Les zones d'érosion dans la zone de recherche.....	58
Figure 27 : Profil sous savane herbeuse à Amby	60
Figure 28 : Profil sous savane dégradé à Antanety Est.....	61
Figure 29 : Profil sous-forêt de Tapia à Antanetikely	63
Figure 30 : Coupe naturelle sous forêt de Tapia et d'Eucalyptus à Ankalalahana.....	64
Figure 31 : Profil sous forêt de Tapia à Ambodifarihy.....	64
Figure 32 : Profil longitudinale de l'Irihitra.....	67
Figure 33 : Profil longitudinale de Mariarano.....	67
Figure 34 : Vue aérienne de la dégradation des versants.....	68
Figure 35 : Les zones à risque d'inondation et d'ensablement de la zone d'Arivonimamo.....	69
Figure 36: Le calendrier cultural.....	70

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau n°1 : Les travaux de documentation.....	9
Tableau n° 2 : Les zones sensibles à l'érosion.....	11
Tableau n° 3 : Granulométrie des sols de la zone de recherche.....	16
Tableau n°4 : Les caractères physiques de roche granitique.....	26
Tableau n° 5 : Localisation des zones de prélèvement pédologique.....	30
Tableau n°6 : Valeurs CPM des données pluviométriques de 2004 à 2014.....	34
Tableau n°7. Les impacts de l'action anthropique sur l'environnement.....	66
Tableau n°8 : Degré de réalisation du résultat de reboisement.....	74
Tableau n°9 : Nature des apports par type d'exploitation.....	76
Tableau n°10 : Identification des Impacts positifs sur les domaines concernés.....	77
Tableau n°11 : Les problèmes rencontrés dans la zone de recherche et les points de vue dans l'avenir.....	79

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

	Pages
Photo n° 1 : La prise de la valeur de la température de chaque échantillon.....	15
Photo n°2 : La disposition d'une couche plissée	26
Photo n°3 : Une grande épaisseur de 15 mètres des altérites.....	29
Photo n°4 : Forêt de Tapia incendiée dans le Fokontany Kianjanarivo.....	44
Photo n°5 : Feux de brousses dans le Fokontany d'Antanetilava.....	44
Photo n°6 : Exploitation aurifère dans la forêt de Tapia.....	46
Photo n°7 : Exploitation aurifère au niveau des versants.....	46
Photo n°8 : Ensevelissement des cultures.....	47
Photo n°9 : Erosion en nappe.....	47
Photo n° 10 : Erosion diffuse sur un champ de culture de manioc.....	48
Photo n°11 : Erosion en rigole sur un champ de culture d'ananas.....	48
Photo n° 12 : Erosion en ravine	49
Photo n° 13 : Lavaka actif sur un versant déboisé à Ankalalahana	49
Photo n°14 : Chute des blocs à Manankasina.....	51
Photo n° 15 : Eboulis de gravité à Antanetikely.....	53
Photo n°16 : Profil naturel de l'Irihitra.....	55
Photo n°17 : Parcelles de cultures sur le versant à Ambohijatovo.....	57
Photo 18 : Ensablement des rizières et des parcelles de cultures dans les zones basses...	68
Photo 19 : Barrage hydroagricole à Antanetilava.....	72
Photo 20 : Lavaka en phase de biostasie dans le Fokontany d'Antanetikely.....	73

Photo 21 : La pratique de la courbe de niveau suivie par l'utilisation des pailles comme protectrice et fertilisante du sol.....	76
Photo 22 : La fermentation des composts.....	76

LISTE DES ANNEXES

	Pages
ANNEXE I : Données climatiques d'Arivonimamo entre 1951 à 1980.....	86
ANNEXE II: Données climatiques d'Arivonimamo entre 2004 à 2014.....	86
ANNEXE III : Valeurs CPM des données pluviométriques de 2003 à 2014.....	86
ANNEXE IV : Comparaison des températures moyennes entre les périodes 1977-1981 et 2010-2014.....	86
ANNEXE V : Bilan hydrique d'Arivonimamo.....	87
ANNEXE VI: Caractéristiques du climat d'Arivonimamo.....	87
ANNEXE VII : Superficies forestières de la commune Arivonimamo II.....	87
ANNEXE VIII : Description du profil pédologique.....	88
ANNEXE IX : Analyses granulométriques	89
ANNEXE X : Estimation des capacités des Lavaka.....	90

LISTE DES ACRONYMES

CIDST : Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique

CITE : Centre d'Information Technique et Economique

FAO: Food and Agriculture Organisation

FTM: Foibe Tao sarintanin'i Madagasikara

GPS: Global Positioning System

INSTAT : Institut National de la Statistique

Max : maximale

Min : minimale

ONE : Office National pour l'Environnement

ONG : Organisation Non Gouvernementale

P : précipitation (en mm)

RN : Route Nationale

SIG : Système d'Information Géographique

GLOSSAIRES

Alluvion : ce sont des dépôts laissés par un cours d'eau. Elle est constituée de galets, de sable et de limon.

Arivonimamo : Durant la conquête de l'Ouest, le Roi de l'Imerina Andrianampoinimerina a rassemblé 1000 soldats et lorsqu'ils ont arrivé à Arivonimamo, cela veut dire littéralement qu'ils ont bu en route au niveau de cette zone, qui veut dire « les milles sont ivres ».

Bassin-versant : Une zone dans laquelle toutes les eaux s'écoulent vers une même voie de drainage ou nappe d'eau.

Bilan hydrique : bilan d'eau appliqué à la zone non saturée du sol ou à la strate végétale de l'atmosphère.

Capacité d'érosion : pouvoir d'un courant d'eau attaquer les berges et le fond d'un cours d'eau, lié à la fois à la vitesse du courant et à la concentration en matériaux, une eau claire étant plus agressive qu'une eau chargée dont une partie de l'énergie est déjà mobilisée par le transport de matériaux qu'elle contient.

Capacité d'infiltration : quantité d'eau maximale pouvant s'infiltrer, par unité de temps, dans un sol donnée sous des conditions données.

Charriage : phénomène concernant le mouvement des matériaux sur les fonds d'un cours d'eau.

Climat : désigne l'ensemble des caractéristiques du temps au cours de l'année.

Colluvion : c'est un dépôt qui résulte d'un transport sur une courte distance.

Confluence : le fait que deux ou plusieurs cours d'eau se rencontrent.

Cours d'eau : terme très général désignant toutes les eaux concentrées dans un chenal. L'eau de cours d'eau provient des ruisseaux.

Couverture végétale : ensemble de la végétation qui couvre la surface d'un bassin, caractérisé par sa densité et sa typologie.

Crête : c'est la ligne de sommet séparant deux thalwegs.

Crise : c'est une période ou un moment de changement d'un phénomène de stabilité à un phénomène d'instabilité.

Crue : gonflement exceptionnel et brusque de l'eau de rivière. En générale, la montée de l'eau est dite crue lorsque le débit maximal atteint une valeur au moins égal 3 à 5 fois le module annuel c'est-à-dire 3 à 5 fois supérieure aux plus grandes valeurs.

Débit : quantité de l'eau passant à la station à un temps donné. Il a pour unité m^3/s ou l/h

Déficit hydrique : sur un intervalle de temps donné, différence entre l'évaporation réelle et les précipitations.

Défrichement : c'est la destruction spontanée de la végétation.

Dénivellation topographique : c'est l'écart entre l'altitude la plus élevée et celle la moins élevée.

Diaclase : il est utilisé pour appeler une fissure non accompagnée d'un déplacement à l'intérieur d'une roche.

Eboulement : c'est un terme utilisé pour désigner une chute de matériaux éboulés.

Eboulis : indique l'amas de matières éboulées.

Ecoulement de surface : partie de l'écoulement qui transite uniquement dans le réseau superficiel sans jamais s'infiltrer.

Ecoulement : mouvement en générale des masses d'eau en surface et en souterraine.

Ecrolement : il est utilisé pour indiquer un détachement gravitaire volumineux de bloc. C'est donc un détachement d'une masse de terrain accompagnée d'une chute brutale en quelques instants par déséquilibre de ses contraintes internes.

Ensablement : dépôt de sable par voie d'eau ou par voie aérienne sur le sol ou dans le réseau hydrique.

Erosion en nappe : érosion provoquée à la surface du sol par le ruissellement diffus.

Erosion pluviale : érosion due à l'impact direct des gouttes des pluies et au ruissellement diffus qui suit immédiatement cet impact.

Erosion : processus physique et chimique naturel par lequel le sol et les roches de la croûte terrestre sont continuellement soumis à une abrasion et à une corrosion, dénudation superficielle par entraînement et constitue un processus de détérioration des sols.

Exutoire : c'est la partie aval du bassin versant. Il reçoit l'eau en provenance des sommets.

Fokontany : Limite administrative de base dans la Décentralisation Territoriale

Griffure : c'est une forme vive caractéristique du début de l'érosion par le ruissellement diffus.

Instabilité : en géographie, ce terme est utilisé pour désigner la domination d'un processus mécanique sur le versant dans lequel il y a déplacement des matériaux fins et/ou grossiers. On assiste alors à une morphogenèse des versants. Par contre, la stabilité désigne la domination de processus chimique sur le versant, lequel est caractérisé par l'altération des roches. C'est la période de la pédogenèse.

La nappe phréatique : nappe d'eau libre souterraine à faible profondeur.

Lavaka : forme d'érosion assez spectaculaire observée en général sur les flancs de colline des zones tropicales. Il a une forme ovoïde subcirculaire.

Lessivage : Processus d'entraînement par l'eau des substances et des éléments du sol par un mouvement descendant suivant l'infiltration.

Ligne de partage des eaux : ligne formant un contour fermé tel que toutes les particules d'eau susceptibles de ruisseler et situées à l'intérieur de ce contour, ne puisse s'écouler que vers un point ou plusieurs points.

Modelé : c'est une forme liée à l'action de l'érosion.

Paysage : c'est un espace constitué d'un ensemble d'éléments naturels et anthropiques avec une identité visuelle ou fonctionnelle.

Pente : désigne une surface inclinée mesurée en pourcentage ou d'après l'angle que fait la surface par rapport à l'horizontale.

Processus morphogénique : c'est un phénomène à l'origine de la forme de dissection et d'accumulation.

Profil pédologique : c'est une représentation verticale des horizons du sol en fonction de la profondeur.

Ravin : entaille ou petite vallée creusée par le ruissellement concentré résultant d'une forte chute de pluie.

Reptation : processus de déplacement superficiel lié à la déformation plastique de matériaux meubles. Mesurant de quelques cm sur les versants.

Roche mère : c'est la roche sous les formations superficielles.

Ruissellement : écoulement, par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain, des eaux de pluie qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage à la surface du sol pour arriver à la l'exutoire.

Sol : c'est la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacents sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques.

Splash : terme anglais qui signifie battance. Il indique le premier effet morphologique de la pluie sur le sol. Il dépend de la taille des gouttes.

Système d'érosion : le concept désignant l'ensemble des interactions et des interdépendances agissants entre les phénomènes érosifs d'un milieu.

Système morphogénique : concept incluant l'ablation, le transport et l'accumulation.

Talweg : c'est une ligne qui joint les points les plus bas d'une vallée.

Vary an-tanety : riz planté pendant les saisons de pluies sur les pentes.

Vero : *Hyparrhenia rufa*.

Versant : flanc d'une montagne souvent considéré par son orientation.

INTRODUCTION

Le sol est défini comme une couche superficielle de l'écorce terrestre. Il constitue un capital naturel pour l'homme, un support nourricier des plantes, et assure une source de ravitaillement pour les animaux. Le monde entier rencontre ses propres difficultés en termes de dégradation des sols. Les manifestations de ce problème sont de plus en plus visibles (augmentation de la température, variation de la quantité pluviométrique, montée du niveau de la mer, décalage de la saison des pluies, etc.) et les conséquences sur le biotope et biocénose sont énormes. Le phénomène de dégradation influe directement sur plusieurs domaines : écologique, social et économique qui pourrait déstabiliser effectivement l'équilibre de l'écosystème.

En Indonésie, le coût annuel de l'érosion est l'équivalent de 0,6% du Produit Intérieur Brut (PIB). En 1990, 55% des terres exploitables ont été dégradées par l'érosion hydrique et 24% des sols du monde entier ont souffert d'une faible productivité due à leur détérioration et leur utilisation non appropriée ¹. Malheureusement tous les sols émergés du globe ne se prêtent pas à la culture. De ce fait, d'ici quelques années, la surface des sols cultivés dégradés s'étendrait probablement à 150 millions d'hectares et une trentaine de pays seraient menacés de désertification qui conduirait à l'augmentation des zones à risque de famine. En Afrique tropicale, les risques de dégradation du milieu environnemental sont alarmants depuis un siècle. Ceci est dû principalement à l'extension des cultures sur des versants à forte pente du fait de l'accroissement des besoins en ressources vitales.

Pour le cas de Madagascar, l'insuffisance de terrain à vocation agricole qui s'ajoute à la diminution des superficies cultivables sont des réalités notées dans les milieux ruraux. Il est l'un des pays du monde où les problèmes soulevés par la dégradation des sols sont énormes, 8/10 de sa superficie totale sont soumis aux effets d'une érosion infiniment plus active². De plus, le capital naturel s'épuise, en plus des pertes économiques dues au changement climatique³. La dégradation des ressources naturelles a provoqué un mouvement national de réaction contre la dégradation de l'environnement, dont l'évaluation requiert des compétences diverses afin de rechercher les solutions susceptibles de remédier à cette situation alarmante pour l'avenir économique et social de la Grande-Ile. De ce fait, elle était le premier Etat africain à initier un « plan d'action environnemental », deux ans avant la conférence de Rio.

¹ Rapport Planète Vivante, 2016

² Humbert, 1949

³. Rapport Planète Vivante 2016

Les influences sont différentes selon la position géographique. En particulier dans la région de l'Itasy, la ressource forestière naturelle a connu une perte de 584 ha durant 15 ans⁴ (1990-2005) où le pourcentage de Lavaka de 44.48 % est largement supérieur à celle de la valeur nationale 18.27%. Cependant, 2% seulement de ces phénomènes érosifs recensés sont complètement stabilisés parmi la superficie affectée de 1230ha dans la région de l'Itasy⁵. Une perte en terre de 27,5 à 39 t/ha/an a pu être estimée dans les parcelles élémentaires de culture⁶. Cette région est caractérisée également d'une vue d'ensemble de paysage environnemental dominé par les phénomènes produits par l'érosion (comme Lavaka, ensablement, etc.) et l'évaluation de la production agricole en baisse indique la dégradation et la perte de fertilité du sol. La région n'est pas à l'abri à tout éventail de risques naturels qui entraîne un effondrement des parois des versants et une mobilisation des matériaux. Le thème concernant l'érosion hydrique a été ces derniers temps un sujet de discussion de nombreux experts notamment ceux qui sont dans le domaine de l'Agroécologique. Les résultats de cette recherche se pencheront sur les conditions qui accentuent l'érosion et les effets du phénomène proprement dit dans la région. D'où l'intitulé de ce travail de recherche: « **Les impacts de l'érosion hydrique sur les versants de la zone rurale d'Arivonimamo** ».

Aussi, l'objectif général consiste à déterminer les liens qui peuvent exister entre les conditions climatiques, les caractéristiques du sol, l'occupation du sol, la topographie et l'érosion hydrique. La recherche a essentiellement pour but d'établir le modèle géodynamique externe de ce processus et d'expliquer les impacts de l'érosion hydrique sur les versants dans le temps et dans l'espace afin de combattre ou d'atténuer leur action.

Suite à une variation climatique qui est d'autant plus un problème récent ; la quantité des pluies varie d'une année à l'autre et est inégalement répartie au cours de la saison pluvieuse, plusieurs éléments interagissent sur les milieux naturels de la zone rurale d'Arivonimamo. Ainsi, la question ci-dessous a été posée afin de répondre aux besoins de recherche, la problématique qui se pose dans cette recherche consiste à répondre à la question suivante :

« **Quelles sont les principales causes et conséquences de l'érosion hydrique sur les versants de la zone rurale d'Arivonimamo ?** ». Cette problématique principale est précisée par les questions suivantes :

- Quels sont les processus caractérisant l'érosion des versants de la zone rurale d'Arivonimamo ?

⁴ Direction des Eaux et Forêts, 2010

⁵ FOFIFA, INSTAT 2001.

⁶ Direction des Eaux et Forêt dans la région Itasy, 2002

- Dans quelle mesure les facteurs du milieu naturel et les actions anthropiques interviennent-ils dans l'évolution des versants dans cette zone ?

Ces interrogations sont très importantes dans la réalisation de la recherche pour pouvoir aboutir à des objectifs intéressés et confirmer les principales hypothèses qui ont été émises. Le travail comporte trois grandes parties dont la première sera consacrée au contexte général de la recherche, tandis que la deuxième présentera la dégradation du milieu naturel dans la zone rurale d'Arivonimamo. L'interprétation des données ainsi recueillies fait l'objet de la troisième partie, qui conduira à la détermination des hypothèses, en présentant tout de suite les améliorations qui ont été apportées à chaque paramètre afin de mieux stabiliser et protéger le sol.

PREMIERE PARTIE

LOCALISATION DE LA ZONE ET DEMARCHES DE RECHERCHES

Toute recherche se distingue d'une autre par ses caractéristiques. Dans cette première partie, l'objectif est de mentionner la localisation de la zone de recherche et la démarche suivie pour l'élaboration du mémoire.

CHAPITRE I. LOCALISATION DE LA ZONE DE RECHERCHE

I.1.1 Une zone de la partie Haute Terre Centrale de Madagascar. (Cf.Figure n°1)

La zone rurale d'Arivonimamo est située sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar; elle fait partie intégrante de la région Itasy, dans la zone de transition entre le centre et le moyen ouest malgache dont le climat commence à avoir le trait de celui du versant occidental. Sur le plan géographique, elle se trouve à une distance d'environ 50 Km à l'ouest d'Antananarivo en suivant la Route Nationale N°1 ,et est drainée par plusieurs rivières à savoir l'Irihitra, l'Iombifotsy, la Mariarano et l'Onibe. Elle est comprise entre les parallèles 18°53' et 19°02' de latitude Sud et entre les méridiens 47°06' et 48°14' de longitude Est. La zone de recherche se trouve dans trois communes bien distinctes la commune rurale d'Arivonimamo II, celle d'Ambohitrambo et la commune Urbaine d'Arivonimamo avec dix-neuf Fokontany, celle d'Ambohitrambo et la commune Urbaine d'Arivonimamo avec dix-neuf Fokontany concernés par la recherche.

I.1.2 Choix du sujet

Le choix de la zone de recherche dépend de quelques caractéristiques bien définies. Elle se marquée par des traits particuliers non seulement sur les milieux naturels mais aussi sur le plan écologique et humaine. Elle est caractérisée par la présence de la forêt de Tapia, celle-ci est menacée d'être convertie en superficies agricoles à cause d'une pression démographique accrue. D'autant plus que les sols sont le support d'une forêt endémique d'uapacabojeri mais également d'activités économiques telles que l'orpaillage, la sériciculture, la culture d'ananas ...etc. Ainsi ,l'activité anthropique entre en jeu au changement du paysage et à plus forte raison elle amplifie la dégradation de la forêt naturelle au cours de ces dernières décennies entre 1990 et 2000 (Cf Figure 2).

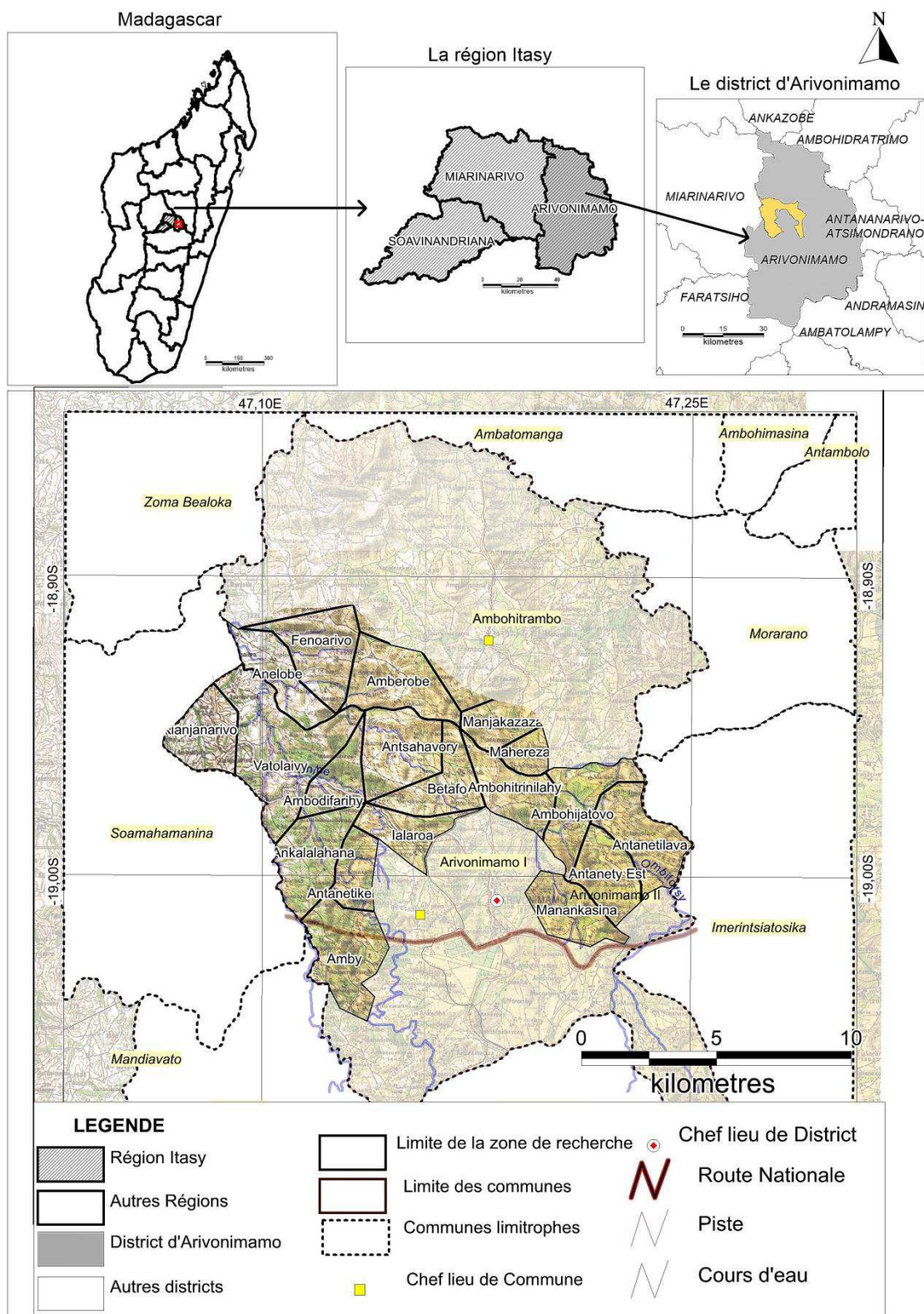
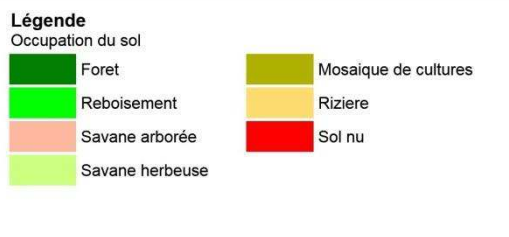
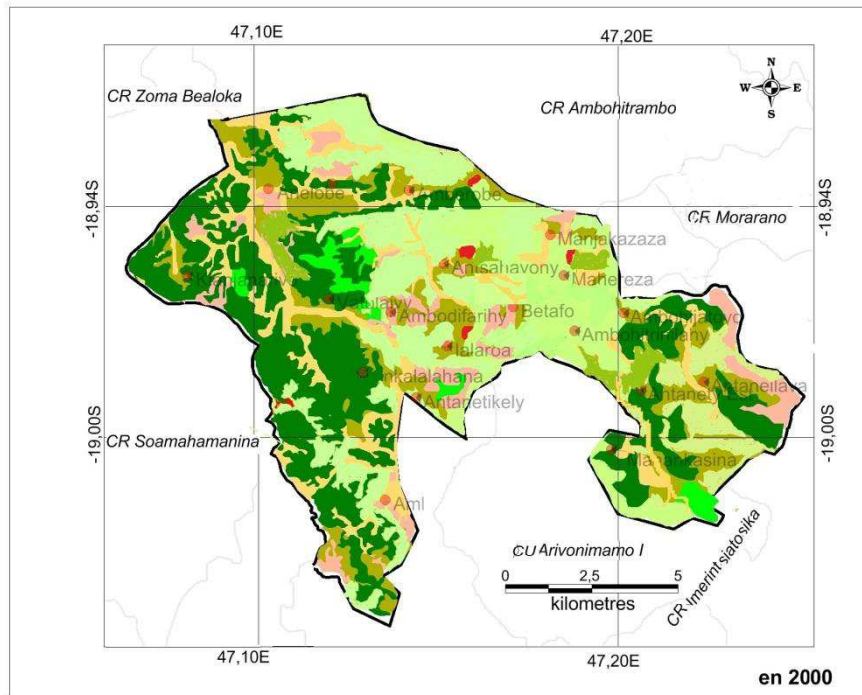
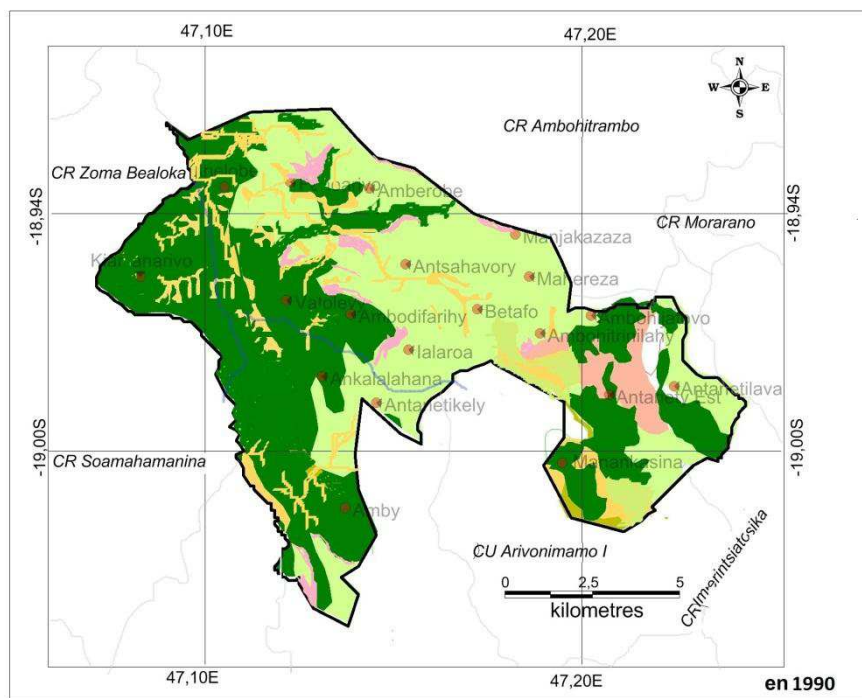


Figure 1. Localisation de la zone de recherche (Source : carte topographique à l'échelle de 1/100 000, NO 4746, Miarinarivo-Arivonimamo, FTM, avec arrangement de l'auteur)



Sources:
1990 : images landsat 7 scène 159073
2000 : images google 2000
arrangé par l'auteur

Figure 2 : Occupation du sol en 1990 et 2000

1.1.3 .Les hypothèses de la recherche

L'érosion peut se déclencher à un endroit dès lors qu'un ou plusieurs facteurs y soient favorables. Il faut donc prendre en considération non seulement les facteurs mais aussi ceux qui ont les plus fortes contributions au phénomène étudié.

En effet, les travaux de recherche ont été basés sur quelques hypothèses :

- Les milieux naturels de la zone rurale d'Arivonimamo sont vulnérables au phénomène d'érosion.
- Les différentes formes d'érosion sont les principaux agents de l'évolution des versants et responsables des dommages environnementaux.
- Les facteurs liés à la stabilisation du sol freinent l'accentuation de phénomène d'érosion.

La première et la deuxième hypothèse avaient besoin des inventaires physiques sur terrain et après classifications des données, le principe a été d'évaluer d'année en année la variation de la dégradation si possible, ses impacts que ce soit d'une manière positive ou négative. Enfin, pour la troisième hypothèse, des techniques avaient été élaborées pour pouvoir exécuter des interviews et enquêtes ; l'interprétation des résultats sera plutôt spécifique pour les données.

En vue d'une bonne réalisation de la recherche, celle-ci est indissociable à une démarche quel que soit la recherche retenue.

CHAPITRE II. DEMARCHES DE RECHERCHES

II.1 Démarche adoptée

Pour atteindre les objectifs cités précédemment, la démarche déductive a été adoptée. Elle sert à analyser à partir d'un regard général pour pouvoir vérifier certaines hypothèses sur le terrain. Les travaux présentés dans le cadre de ce mémoire ont été effectués en trois étapes qui seront abordées ultérieurement.

II.2 Les travaux de documentation

En premier lieu, la première étape a consisté à la consultation des divers documents et la webographie. De nombreux ouvrages, documents, articles, thèses et mémoires, pièces d'archives, cartes ont été consultés dans différents centres de documentation (cf Tableau n°1) Après cette phase, le classement des données essentielles de chaque ouvrage et des interprétations ont été faits pour émettre des hypothèses claires. Des ouvrages en ligne concernant le thème de recherche la zone de l'Itasy et ses environs ont été téléchargés depuis internet. Les recherches ont été axées sur le thème d'érosion et ses impacts, l'aménagement

des bassins-versants, la géomorphologie des versants, sur la sédimentation, et les sols ferrallitiques tout en tenant compte d'un aperçu global du milieu tropical en général en Afrique et en particulier à Madagascar. Il y a également des ouvrages sur le Quaternaire malgache ainsi que le volcanisme de l'Ankaratra, lié avec la genèse de la géomorphologie de la partie méridionale d'Arivonimamo.

La deuxième étape de documentation a été consacrée à la consultation des cartes, des images satellitales et des photographies aériennes pour obtenir plus d'informations sur la zone de recherche. Les cartes de végétation et de géomorphologie réalisées lors de ces différentes études, ainsi que les cartes topographiques, géologiques ont été extraites à partir des divers documents. Ces cartes ont servi à délimiter la zone et à tracer les itinéraires. Le thème concernant le réseau hydrographique est obtenu par numérisation des cours d'eau présents sur la carte topographique, complétée par une étude des photographies aériennes afin d'évaluer l'évolution de l'occupation des sols. Elles ont été accompagnées d'une notice explicative qui a beaucoup aidé dans la connaissance des différents types de sol y compris notamment la région de l'Itasy.

En dehors des documents bibliographiques et cartographiques, la zone de recherche a été observée par la vue aérienne en utilisant quelques logiciels. Les autres données numériques telles les bases de données (BD500) du FTM qui ont permis notamment d'avoir une vue d'ensemble de la zone de recherche en question et de dégager les principaux reliefs, de prévoir les itinéraires pendant les travaux de terrain. De ce fait, la compilation et l'exploitation de toutes les données susmentionnées ont été complétées par l'évaluation spatiale à l'aide des techniques de télédétection et du S.I.G pour pouvoir faciliter la cartographie. Toute information a été exploitée suivant les différents niveaux de données (quantitatives, qualitatives).

Tableau n°1 : Les travaux de documentation

<p>Centres de Documentation</p>	<p>Le Centre de Documentation et d'Information (CDI) de la mention Géographie, de l'ESSA, de la Faculté des Sciences et de la Bibliothèque Universitaire à l'Université d'Antananarivo,</p> <p>Le Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique (CIDST), la bibliothèque le Fond Grandidier et celle du Fofifa à Tsimbazaza.</p> <p>le Centre d'Information Technique et Économique(CITE) d'Ambatonakanga,</p> <p>l'Institut National de la Statistique (INSTAT) à Anosy,</p> <p>l'Office National pour l'Environnement (ONE) à Antaninarenina,</p> <p>le Service Information et Communication au Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural (MADR) Anosy,</p> <p>la Bibliothèque Municipale d'Analakely et la bibliothèque de la Direction de la Géologie d'Ampandrianomby.</p> <p>la bibliothèque météorologique et hydrologique d'Ampandrianomby,</p> <p>la bibliothèque de l'IRD à Ambatoroka, celle de GIZ à Ambatobe, le CSA et l'ONG SAHA à Arivonimamo.</p>
--	--

Consultation des cartes	<p>-La carte topographique au 1/100 000^e , feuilles N47 Miarinarivo, O46 Arivonimamo ;</p> <p>-la carte géologique au 1/200 000^e feuille Miarinarivo - Tananarive, extrait de la carte géologique de Madagascar, édition 1963, NOPQ 46 47 par RAKOTONANAHARY, RAKOTOARISON ;</p> <p>-La carte pédologique de Madagascar au 1/200 000^e, feuille Antananarivo SD 38L d'après le projet Inventaires des ressources naturelles terrestres en 1992 ;</p> <p>- la carte de la couverture forestière de la région Itasy.</p>
Images Satellites, photographies aériennes, les logiciels utilisés	<p>Google earth Pro;</p> <p>La télédétection ;</p> <p>L'image Landsat 7 scène 159 073 (2000) ;</p> <p>Arcgis 10.1 ; Word ; Excel</p> <p>Map Info 12</p>

(Source: conception de l'auteur)

Après ces différentes préparations, les travaux de terrain ont été effectués pour pouvoir rapprocher les paysans et vérifier certaines hypothèses qu'ont été émises.

II.3 Les travaux de terrain (Cf. Tableau n°2)

Afin de réaliser la présente recherche, des enquêtes au niveau des paysans ont été menées dans dix-neuf fokontany de la zone étudiée dont la majorité fait partie de la commune rurale d'Arivonimamo II, en plus elles ont été développées vers la partie méridionale d'Ambohitrambo et orientale de la Commune Urbaine d'Arivonimamo. Ces sites ont été choisis en collaboration avec l'union des VOI⁷. Afin de mieux spatialiser les phénomènes d'érosion, la zone de recherche a été divisée en deux parties suivant le degré de la dégradation des milieux et l'intensité du phénomène érosif observé sur le terrain

⁷VOI :Vondron'Olonan Ifotony

Tableau n° 2 : Les zones sensibles à l'érosion

ZONES SENSIBLES	NOM DES FOKONTANY	REMARQUES
Partie occidentale et orientale	11 Fokontany : Ankalalahana, Amby, Antanetikely, Kianjanarivo, Vatolaivy, Ambodifarihy, Ialaroa, Ambohijatovo, Antanetilava, Antanety Est, Manankasina,	Fortement touchées par l'érosion en Lavaka
Partie Septentrionale	8 Fokontany: Ambohitrinilahy, Antsahavory, Betafo Manjakazaza, Mahereza, Amberobe, Fenoarivo, Anelobe	Fortement affectées par l'érosion diffuse.

(Source : Observations sur terrain et enquêtes personnelles, Septembre 2016)

Le nombre de ménages enquêtés de ces fokontany avoisine les 380 dont 20 ménages ont été enquêtés pour chaque village. Ils ont été choisis respectivement en se basant sur la liste des ménages obtenue grâce aux autorités locales. Celui des diverses institutions rattachées comprend 30 personnes enquêtées. Ce qui fait un taux d'échantillonnage de 15 %.

En plus, des fiches questionnaires ont été élaborées, le choix d'un quelconque type d'érosion est orienté par la nature des informations recueillies. Lors des travaux de terrain, la combinaison des types d'enquêtes était nécessaire à cause de la diversité des informations recherchées. Les fiches d'enquêtes par questionnaire ont permis d'avoir des informations complètes pour le cas des paysans ainsi que les mécanismes de l'érosion dans la zone d'étude. D'une part, concernant la déforestation, ce sont les populations riveraines des forêts de Tapia et les orpailleurs qui ont été principalement interrogés. D'autre part, des enquêtes ont été également réalisées auprès des divers organismes, qui opèrent dans le domaine de l'agriculture, de la protection des forêts et de l'exploitation des matériaux d'empierrement dans la zone de recherche.

Avant d'aller sur terrain, un chronogramme et une carte d'itinéraire ont été élaborés (cf Figure 3) laquelle a été conçue en fonction d'une logique suivant la géomorphologie et est appuyée par les observations des photographies aériennes.

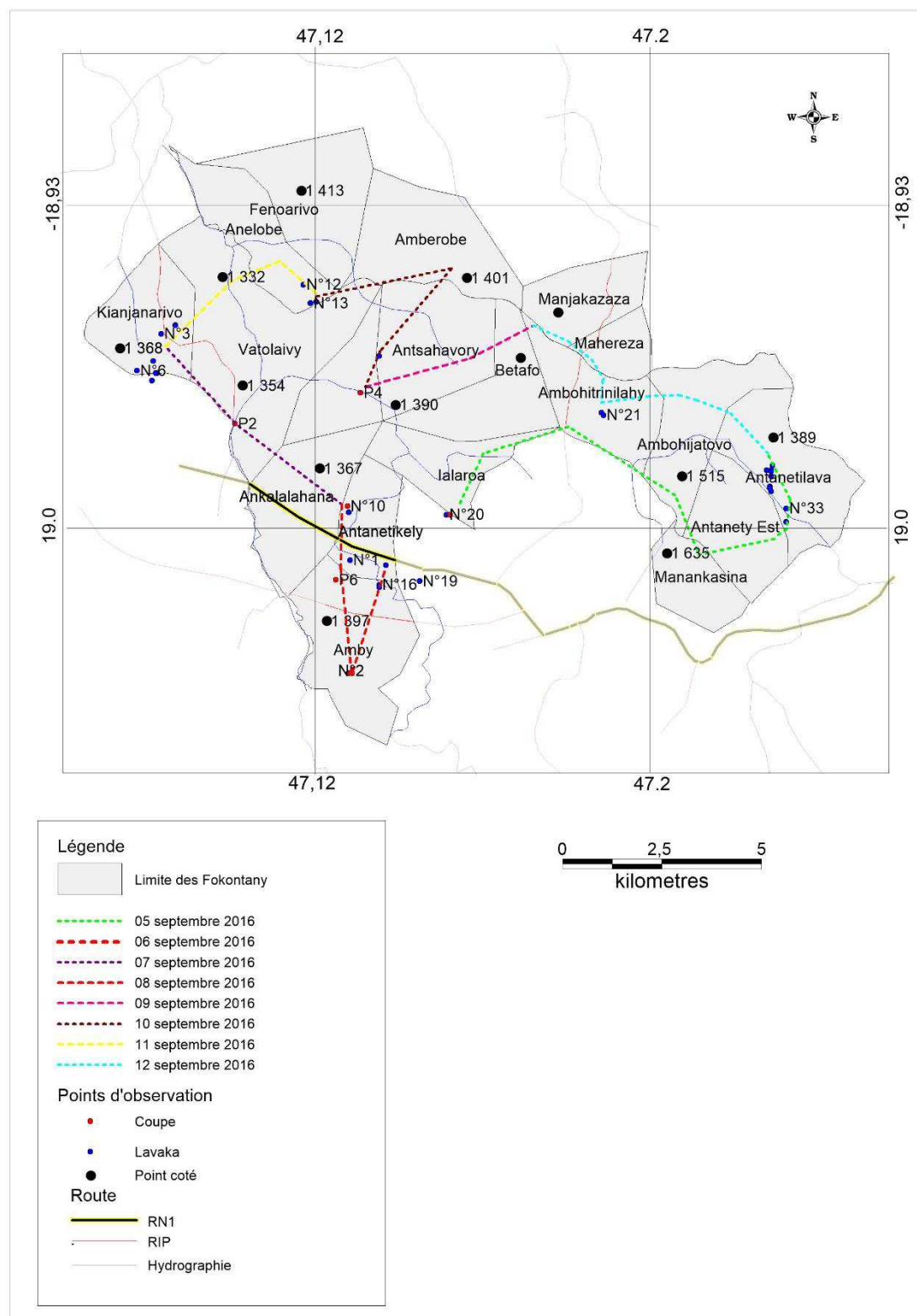


Figure 3 : Carte des itinéraires des travaux de terrain (Source : BD 500 FTM, photographie aérienne, arrangement de l’auteur)

Des mesures ont été effectuées (dimension de vallées, valeur de la pente avec un clinomètre, profil pédologique), description topographique ainsi que la morphologie des Lavaka et de toute sorte de ravinement. En outre, les mesures ont été effectuées à l'aide d'un mètre ruban (longueur, largeur, hauteur et profondeur) ; délimitation des Lavaka et des coupes, leur localisation à l'aide d'un GPS, le prélèvement d'échantillons des sols en vue d'une description détaillée de chaque coupe, liée étroitement avec le phénomène d'érosion. Pour ce faire, une première estimation a été établie concernant les compositions des sols en argiles, limons, sables (par la couleur, le touché et ordre granulométrique). Comment les reconnaître sur le terrain ? Le limon humidifié tâche les mains, pas l'argile ni le sable, il est doux et lisse au toucher. Le sable est rugueux ; l'argile colle aux doigts. Tout cela a été suivi par les analyses granulométriques pour pouvoir connaître leur proportion au sein du laboratoire.

En effet, onze (11) coupes de référence ont été levées dans l'ensemble des zones concernées dont sept (6) ont été localisées dans la zone très affectée, cinq (5) dans la zone moyennement érodée et la dernière dans la zone faiblement touchée. En plus, dix (10) autres coupes secondaires ont été étudiées pour avoir une meilleure explication de tous les profils. Ces coupes peuvent renseigner rapidement sur les matériaux et sur leur succession stratigraphique dont les plus intéressantes ont été considérées comme des profil-types. (cf Figure 4).

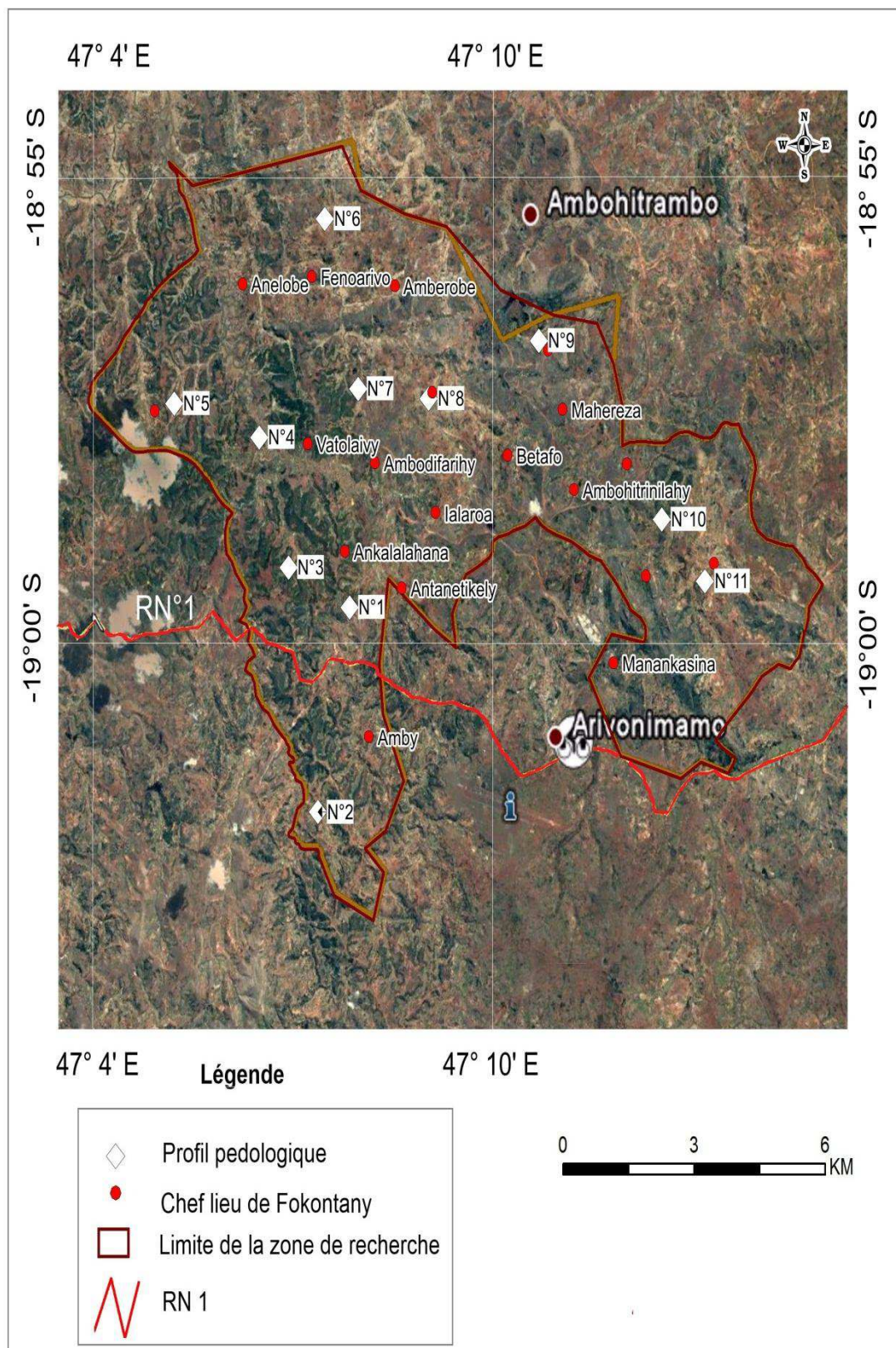


Figure 4 : Localisation des points d'observations sur les terrains (Source : BD 500 FTM et travaux de terrain, avec arrangement de l'auteur, Janvier 2017)

Les travaux de terrain jouent essentiellement un rôle prépondérant dans la réalisation de cette recherche, lesquels ont permis de découvrir directement les réalités locales comme les ensembles topographiques, les activités humaines, la dégradation de la forêt, les différentes formes de l'érosion hydrique qui se présentent sur les versants. Les observations sur terrain confirment les deux hypothèses.

Néanmoins, l'hétérogénéité initiale du matériau rend parfois difficile l'interprétation du profil. Tous les échantillons prélevés durant les travaux de terrain ont été prouvés auprès de laboratoire.

CHAPITRE III. LES TRAVAUX DE LABORATOIRE

Les travaux de laboratoire constituent un complément essentiel des travaux de terrain à travers des analyses.

III.1 Les analyses granulométriques

Les analyses des sols évaluent les différentes estimations et procurent les informations supplémentaires quant à la compréhension de la dynamique de la zone (cf Photo n°1)



Photo 1 : La prise de la valeur de la température de chaque échantillon (Source : cliché de l'auteur, Décembre 2017)

Les échantillons ont été prélevés préférentiellement par horizon (variable selon le cas) le long du profil du sol. Les analyses granulométriques expliquent le comportement hydrique du profil à savoir la surface des sols, les altérites, etc.

Des différentes étapes ont été poursuivies minutieusement afin d'arriver aux analyses recherchés.

III .2 Les résultats des analyses

Les résultats obtenus ont permis d'apporter des données plus précises sur les facteurs de déclenchement d'érosion qui seront utiles pour la compréhension d'évolution des versants sur le socle cristallin. Selon le tableau n°3, le taux élevé des proportions des sables surtout l'abondance des sables grossiers favorise la perméabilité des sols. Les fractions argileuses sont moins représentées.

Tableau n°3 : Granulométrie des sols de la zone de recherche

VEGETATION	NUMERO DE PROFIL ET NOM DU FOKONTANY	ARGILE (%)	LIMON (%)	SABLE FIN (%)	SABLE GROSSIER (%)	TEXTURE
Foret de Tapia	N°1 Antanetikely	29	6	15	50	Limon argilo-sableux
		48	28	10	17	Argilo-sableuse
Forêt de reboisement	N°2 Ankalalahana	19	14	21	46	Limono-sableux
Forêt de Tapia	N°3 Amby	1	14	30	55	Sable limoneux
Foret de Tapia	N°4 Vatolaivy	13	12	27	48	Limon très sableux
Foret de Tapia	N°5 Kianjanarivo	4	11	34	49	Sable limoneux
Forêt de Tapia	N°6 Ambodifarihy	13	17	20	50	Limono- sableux
Savane arborée	N°7 Fenoarivo	3	20	28	51	Sable limoneux
Savane herbeuse	N°8 Antsahavory	13	16	24	47	Limons très sableux
Savane arborée	N°9 Manjakazaza	9	20	18	53	Limon très sableux
Forêt de Tapia	N°10 Ambohijatovo	27	10	19	44	Limon argilo-sableux
Forêt de reboisement	N°11 Antanetilava	5	12	22	61	Sable limoneux

(Source : Laboratoire de pédologie Tsimbazaza, Décembre 2016)

La figure 5 et 6 montrent les fractions granulométriques des profils-types ; les allures de courbes en forme de parabole représentent la prédominance de la teneur en sable et celle de limon presque sur tous les profils tant pour les profils sous- forêts que ceux sous-savanes. Les valeurs sont exprimées en pourcentage dont la proportion de sables se situe entre 63 à 85 %, les limons entre 6 et 28%. Pest entre. Par contre, les proportions élevées d'argiles ne s'observent que dans les horizons supérieurs. Généralement, la prépondérance

des ces deux fractions susmentionnées ont permis d'expliquer l'évolution des profils et la dynamique des versants eux-mêmes.

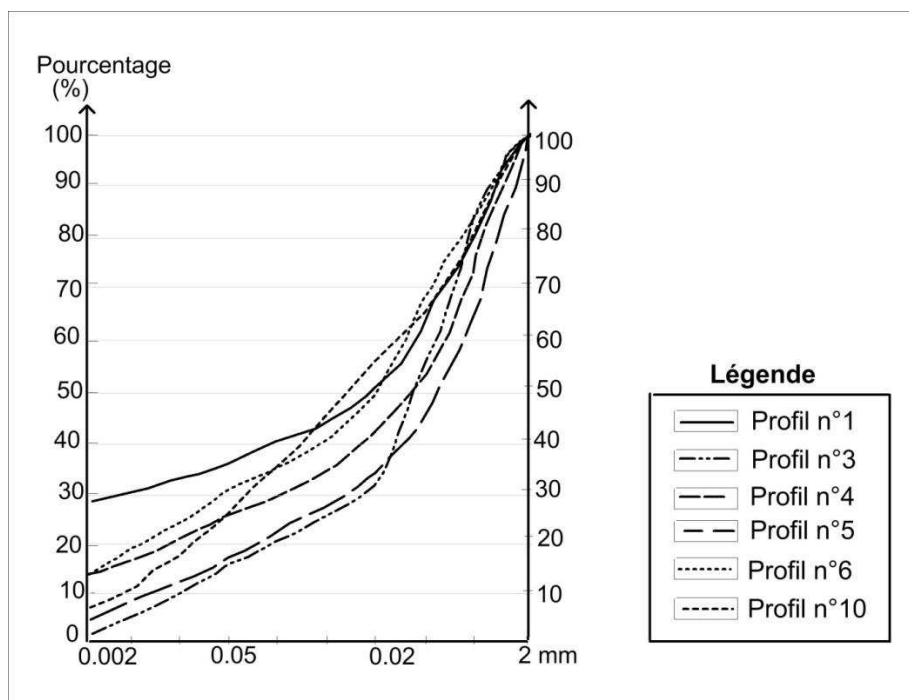


Figure 5 : Courbes cumulatives (quatre fractions granulométriques) des profils sous-forêts (source : travaux de laboratoire , avec arrangement de l'auteur, Décembre 2016)

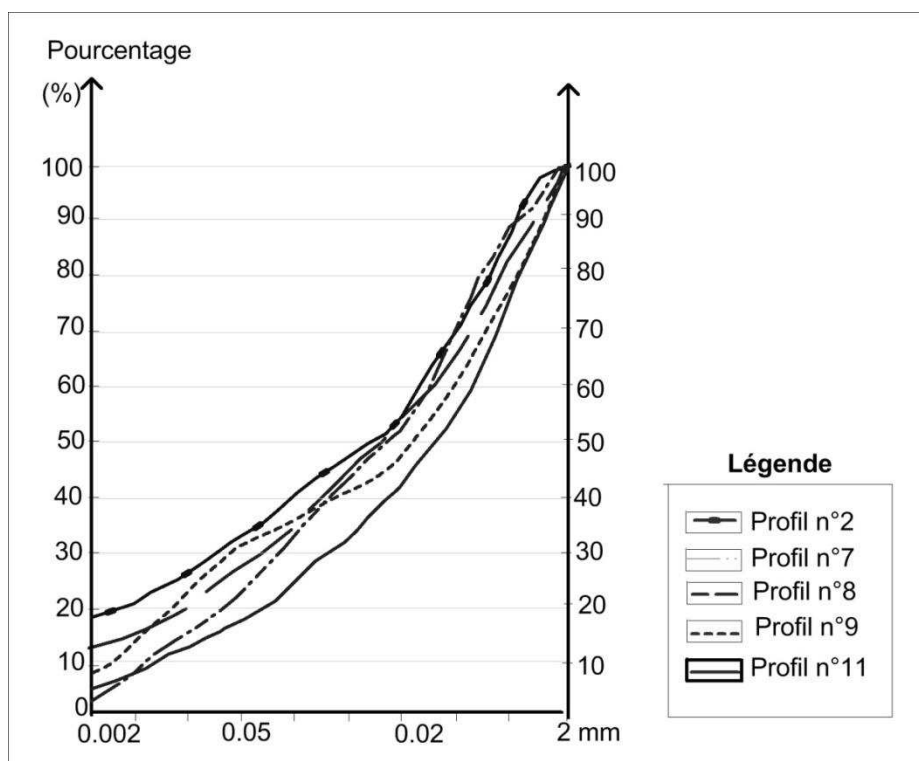


Figure 6 : Courbes cumulatives (4 fractions granulométriques) des profils sous-savanes et reboisement (Source : Travaux de laboratoire avec arrangement de l'auteur, Décembre 2016)

La figure 7 récapitule les travaux de documentation, les démarches qui ont été suivies ainsi que les différentes phases de préparation avant les travaux de terrain. Les données et les informations recueillies ont été par la suite dressées selon leur nature pour pouvoir ressortir les résultats de la recherche.

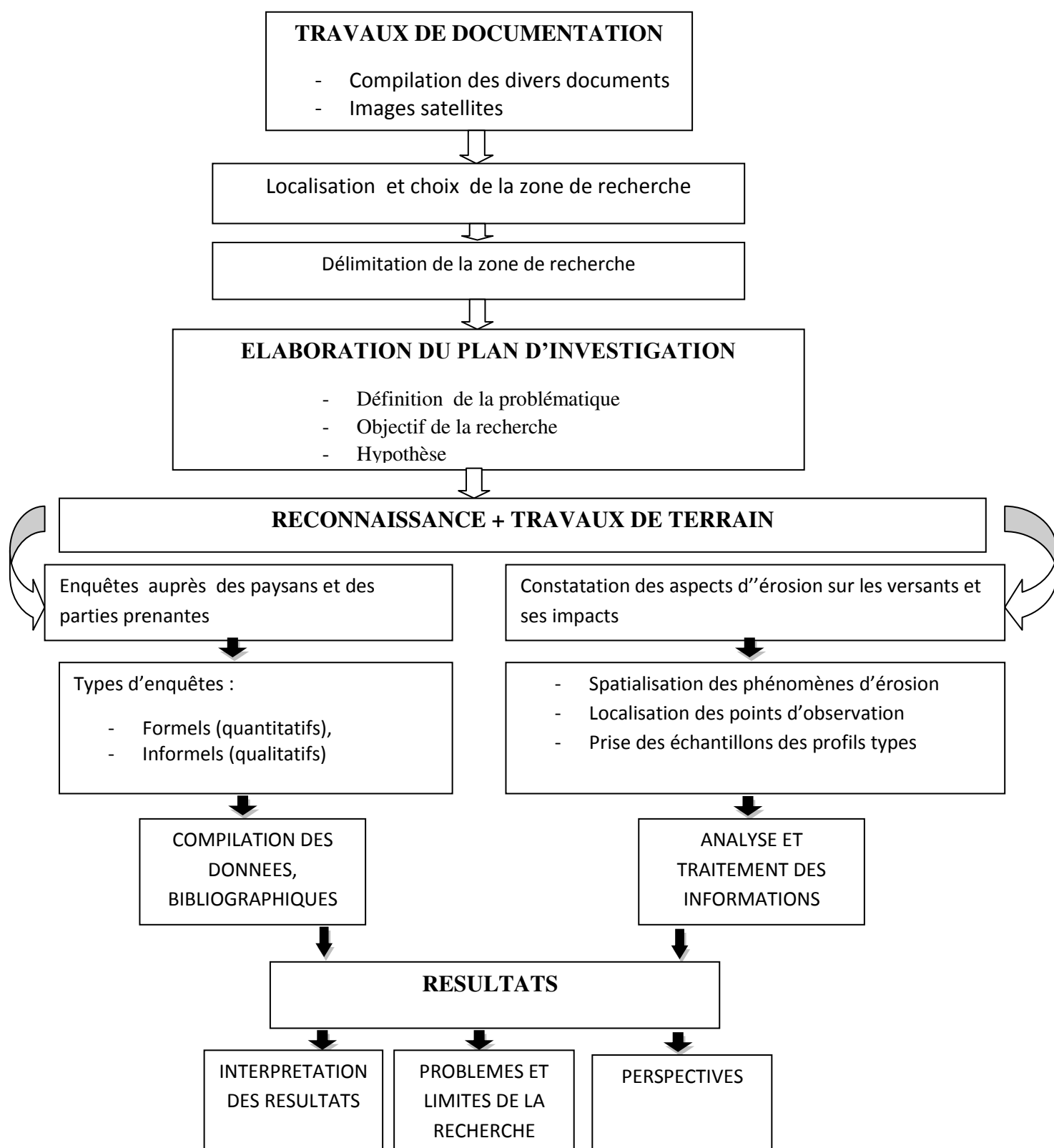


Figure 7 : Schéma récapitulatif des étapes du travail (Source : auteur)

Dans certains cas, la recherche elle-même a connu quelques problèmes. Ces derniers ont failli retarder les travaux à un certain moment la réalisation de la recherche.

III.3 Problèmes et limites de la recherche

De nombreuses difficultés ont été rencontrées dans la documentation et notamment sur la recherche de données. Quelques ouvrages anciens ont manqué de pages ou ont été parfois illisibles. Quelques documents que nous recherchions n'existent pas dans les centres de documentation. La recherche de données chiffrées par exemple celles climatiques, ont été difficiles dans certains organismes ou services publics. Depuis quelques années, la station météorologique de la commune d'Arivonimamo a de grandes difficultés de fonctionnement. C'est la raison pour laquelle, les informations désirées n'ont pas été obtenus. Les données pluviométriques obtenues que ce soit journalières ou mensuelles présentent de nombreuses lacunes durant plusieurs années consécutives. Il en est de même celles des températures. En effet, les données enregistrées pendant le fonctionnement de la station ont été complétées depuis l'internet qui pourrait améliorer les manques. En outre, la période d'enquête est tombée au moment même où les paysans s'activent pour les travaux dans les champs. Quelquefois, il a fallu faire un détour pour s'entretenir avec eux tout en essayant d'être aussi brève que possible. Dans certains cas, ils sont peu disponibles et peu disposés à engager la conversation.

La première partie a été consacrée à élaborer le contexte et la démarche suivis pour l'élaboration du mémoire. Dans la seconde partie, les connaissances approfondies des principaux facteurs de l'érosion hydrique sont indispensables afin de pouvoir distinguer leur degré d'efficacité dans l'accélération des processus d'érosion.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

Cette première partie de la recherche a permis de découvrir et de reconnaître la zone de recherche. Ainsi, l'élaboration de démarches de recherches a marqué cette première étape afin d'aboutir aux résultats. La documentation, la compilation des données ainsi que les travaux de terrain sont parmi les travaux de recherches très importants et indispensables pour une recherche scientifique. En outre, l'utilisation d'autres domaines tels que la pédologie, la cartographie a permis de mieux dégager les éléments essentiels et nécessaires de cette recherche. Ces domaines sont incontournables dans le but de ressortir la spatialisation et phénomène de l'érosion hydrique dans la zone de recher

DEUXIEME PARTIE

LA ZONE RURALE D'ARIVONIMAMO : UN MILIEU NATUREL PLUS OU MOINS DEGRADE

La zone de recherche connaît progressivement une dégradation dans le temps et dans l'espace. L'évaluation des milieux naturels tient une place considérable afin de croiser entre eux les facteurs déterminants.

CHAPITRE IV. UN ENVIRONNEMENT SENSIBLE AUX PHENOMENES EROSIFS

La situation géographique de la région influence sur la dynamique du paysage ainsi que son évolution dans le temps et dans l'espace. La zone rurale d'Arivonimamo présente une érosion des sols très accélérée liée à la combinaison des multiples paramètres.

IV.1 Les effets de la topographie

La topographie constitue un des facteurs qui détermine l'intensité de l'érosion par l'intermédiaire de sa dénivellation, la pente et même sa longueur

IV .1.1 Un relief collinaire disséqué

Le profil topographique de la figure 8 à la page n° 21 montre que le relief de la région est dicté par la succession de colline de direction longitudinale. Avec une altitude allant de 1325 m à 1425 m, la dénivellation entre le talweg et les crêtes arrive jusqu'à 100m. Sa topographie est homogène, résultante d'une dissection qui fragmente le versant en donnant naissance des vallons en forme d'amphithéâtres, étroits et sinueux, des vallées et des plaines alluviales. D'ailleurs, le modelé en question a suffisamment d'originalité. La zone se définit par sa direction structurale et l'agencement de la surface d'aplanissement mi tertiaire, un cycle moins achevé. La géomorphologie de la zone a été formée par des modelés de versant (bas fond, talus aménagé, interfluve, etc), modelés d'érosion et d'accumulation (Lavaka, sédiments, cône de déjection, etc) en plus de la dynamique de versant (éboulis, éboulements, niches d'arrachement, érosion différentielle, etc). Les figures 8 et 9 mettent en évidence trois types de modelés selon leur position géographique dont la partie Nord-Ouest, centrale et Orientale sont constitués respectivement par des zones basses, intermédiaires et collinaires.

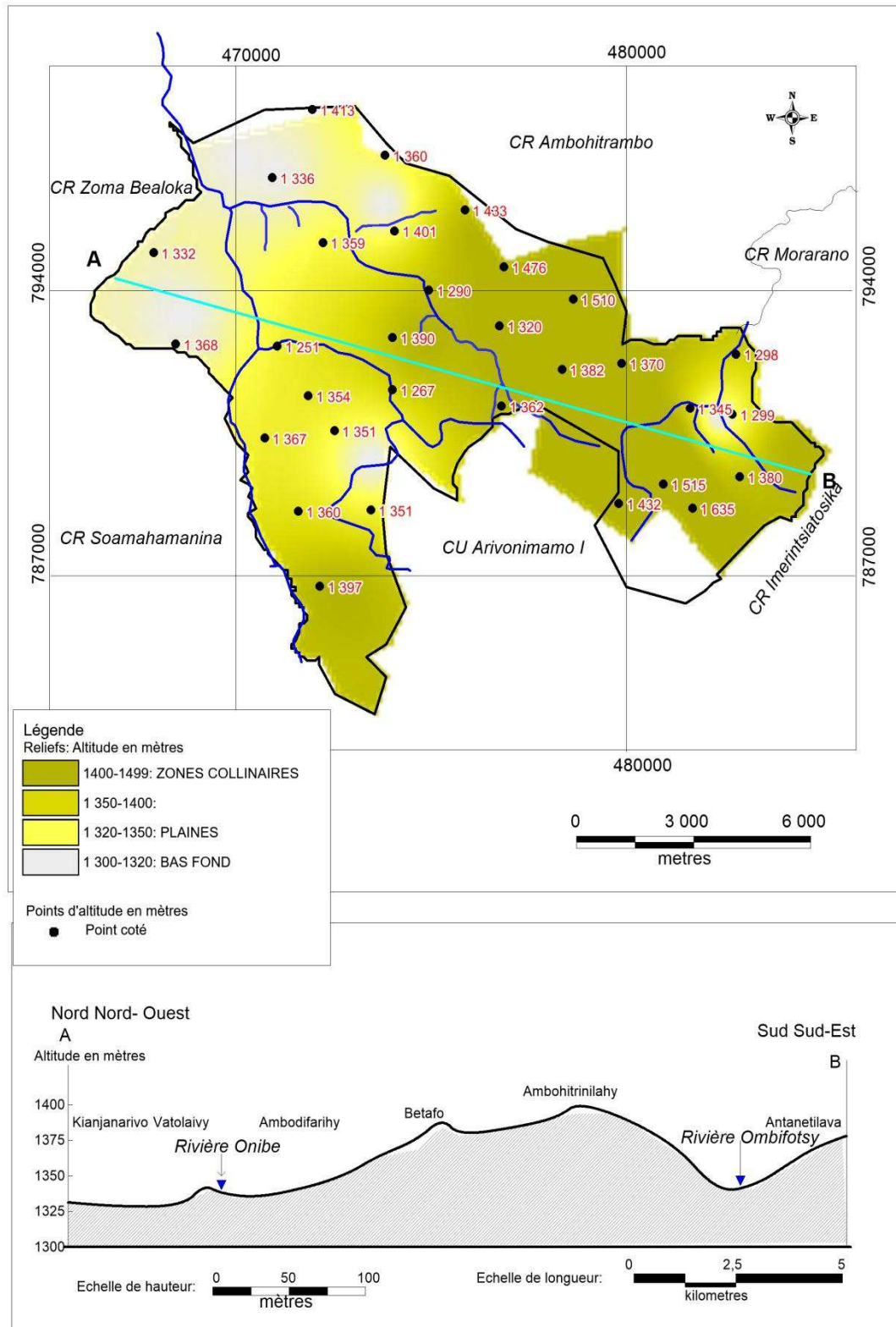


Figure 8. Le relief avec le profil topographique suivant le transect Ouest-Est ,(Source :BD 500 FTM ,carte topographique 1/200 000è ,arrangé par l’auteur)

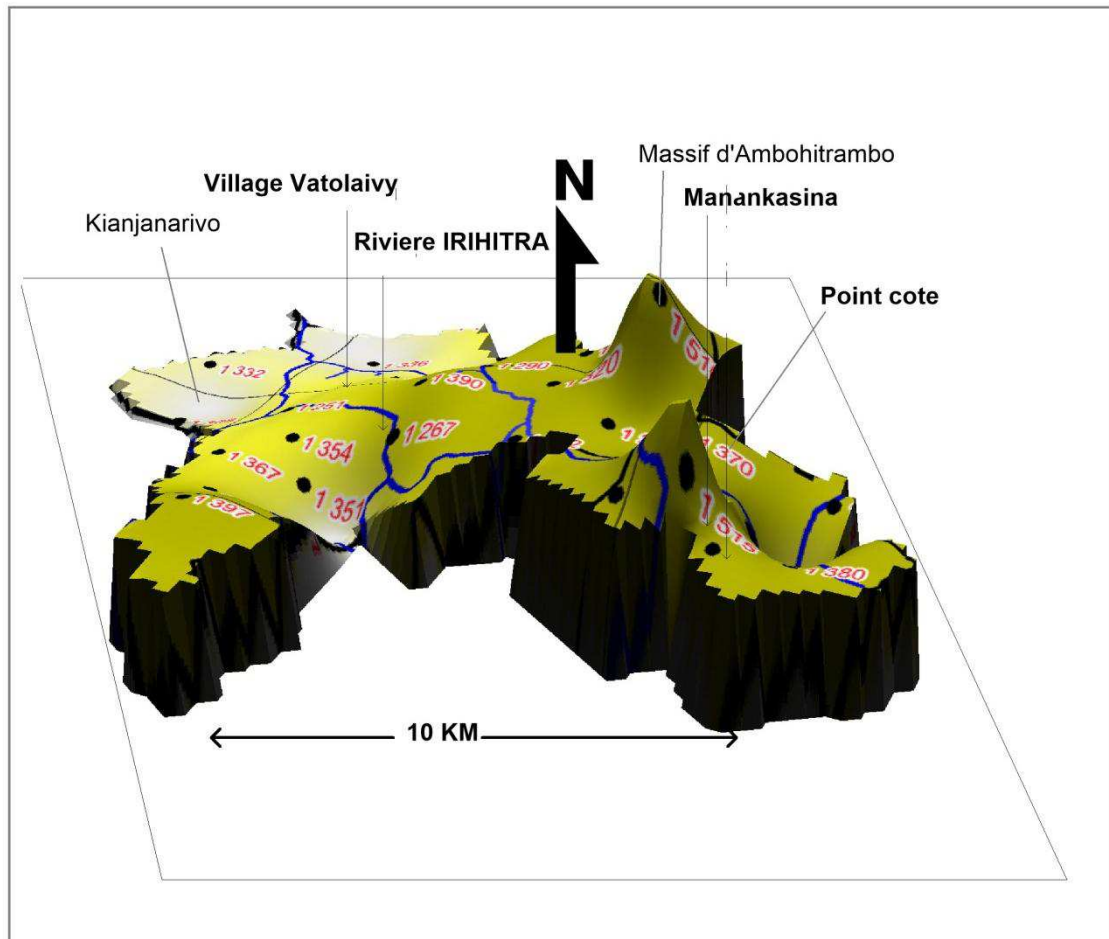


Figure 9 : Vue en 3D du relief d'Arivonimamo (Source : Google earth 2016, arrangé par l'auteur)

Des modelés composés de collines, convexes, plus ou moins arrondies avec ou sans replats caractérisent la partie occidentale tandis que des croupes à partie sommitale aplanie marquent la partie septentrionale. Ainsi, l'incision des rivières de direction subméridienne a façonné celui-ci progressivement dans le temps.

IV.1.2 Les pentes moyennes un peu plus marquées

Par ailleurs, les versants sont plus ou moins pentus dont les valeurs oscillent généralement entre 4 et 11% (Cf Figure 10), les valeurs de pente sont fonction de la dénivellation un peu plus prononcée de la zone qui commande l'intensité de l'érosion due à la longueur de pente surtout celle de latérale, qui est assez marquée.

Les aspects topographiques constituent un facteur très important qui contrôle les conditions d'érosion par son influence directe sur les changements des conditions pédologiques, climatiques ou encore des modes d'exploitation.

Entre autres, la nature des roches sous-jacentes détermine résistance des roches face aux attaques d'érosion. Elles sont considérées comme agent passif dans le déclenchement de l'érosion mais leurs rôles sont non négligeables.

IV.2 Les facteurs géologiques de l'érosion hydrique (Cf Figure 11) .

La zone de recherche se repose sur un socle cristallin, d'âge précambrien appartenant au système du graphique⁸. Elle correspond à la présence de séries migmatites et granitiques d'une roche cristalline facilement décomposable, rattachée dans le cadre de la stratigraphie malgache au système du graphite. Les séries gneissiques du vieux socle ont été largement migmatisées lors du cycle majeur de 550 MA sont partiellement recouvertes par les coulées volcaniques récentes de l'Ankaratra. On rencontre quelquefois des filons granitiques de types Ambatomiranty, souvent peu développés. Les formations alluviales sont peu étendues.

IV.2.1. Les facteurs gneissiques et migmatites

Ils englobent tout l'encadrement occidental de la zone. C'est le groupe des gneiss et micaschistes qui forment une bande allongée notamment dans la partie Sud –ouest. Avec les migmatites qui englobent cette partie, il se présente quelques lambeaux de gneiss.

Dans les formations paragneissiques, il se caractérise essentiellement par des gneiss à biotite ou des gneiss amphiboliques, associés ou non à des amphibolites et à des quartzites fortement recristallisés. La zone correspond à niveau de métamorphisme élevé. Cette région est considérablement affectée par l'activité tectonique issue du volcanisme de l'Ankaratra ayant un rayon de 300km dans laquelle se fait l'inclinaison de la structure penchant vers le Nord-Ouest. Les roches ont été déformées d'abord par le phénomène tectonique, qui a donné la formation micaschiste. Ensuite, elles ont connu un basculement de l'ensemble, en formant de pli couché (cf. Photo 2)

⁸(Hottin, 1976).

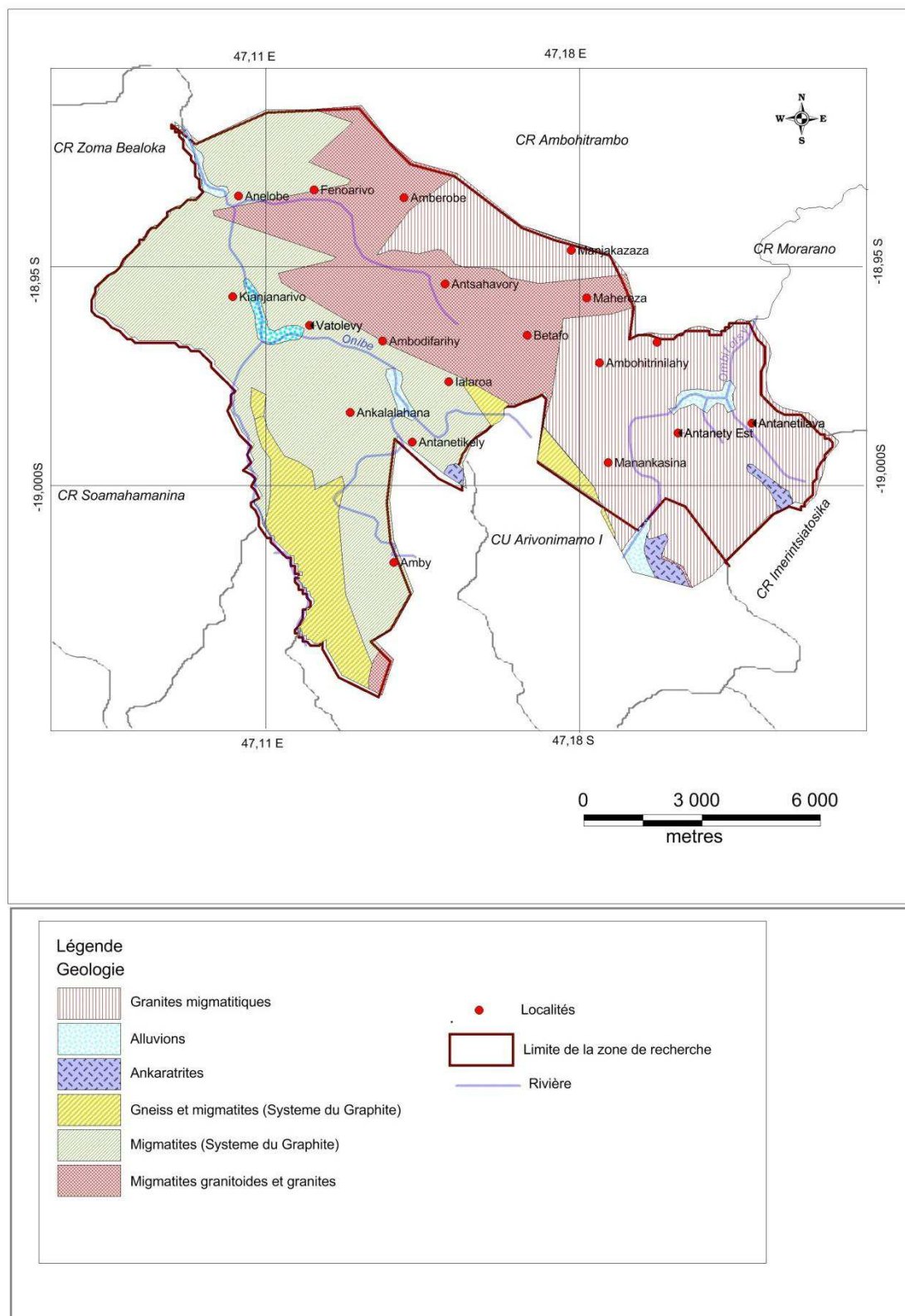


Figure 11 : Les formations géologiques de la zone rurale d'Arivonimamo

(Source : carte géologique de Madagascar, 1/2000000 avec arrangement de l'auteur)



Photo 2 : La disposition d'une couche plissée dans la région d'Arivonimamo. X : 723 989, Y : 7 897 540, Z : 1328m (Source :cliché de l'auteur, septembre 2016)

IV.2.2 Les facteurs : cas des granites migmatitiques et des migmatites granitoides

Les migmatites présentent généralement dans la partie orientale de la zone de recherche. Leur texture microgrenue, à grains fins engrenés les uns dans les autres, leur apporte de très bonne résistance. Le tableau ci-après résume les propriétés physiques de granite :

Tableau n°4 : Les caractères physiques de roche granitique

Propriétés	Valeurs
Masse volumique apparente	2,67 kg/dm ³
Densité apparente	2,7
Dureté (Mohs)	7
Compacité :c	98,50%
Porosité (100 %-c)	1,50%

(Source : Ministère des Mines)

Pour le cas des migmatites, ils sont constitués principalement de quartz et de feldspaths, les micas étant moins abondants. Les migmatites granitoïdes et granites migmatitiques constituent les termes ultimes, granitisés, de la série des migmatites. Ils sont largement répandus sur le secteur étudié et forment de vastes ensembles, qui semblent avoir affecté la plus grande partie de la carte. En général, toutes les roches granitiques appartiennent à une même série de gneiss à amphibole. Elles sont naturellement très sensibles au phénomène érosifs surtout l'érosion en « Lavaka » puisque la couche dure superficielle est moins épaisse que la couche tendre basale. Ainsi, les minéraux sont disposés lit par lit, à structure feuilletée, ce qui favorise l'altération, lorsque la reprise d'érosion se

produit, la zone d'étude est très favorable à la formation des reliefs collinaires aux versants convexes. Cet aspect s'explique par la proximité et la fluctuation des nappes souterraines; la prédominance des roches claires comme les Feldspath facilite la décomposition.

Dans ce paragraphe, les roches sont plus facilement désagrégées, qui auraient provoqué des effets sur l'épaisseur des formations superficielles, meubles exclusivement et susceptibles à l'érosion hydrique.

IV-3 L'érodibilité du sol

Compte tenu de la répartition pédologique de la figure 13, chaque subdivision connaît des niveaux de dégradation des sols selon la nature du substratum sous-jacent.

Dans la partie Occidentale: Les sols ferralitiques sont sur gneiss et micaschiste, ils sont fortement désaturés et pénévolus. Ils sont enrichis en minéraux à structure dégradée.

Etant donné qu'il est le support de la forêt, l'horizon A est plus ou moins épais, bien enraciné et grumeleux. Il est fortement altéré et décomposé dans l'horizon B. Ce sol possède une faible résistance à l'érosion puisque les manteaux d'altération notamment sont très épaisse, qui peuvent arriver jusqu'à 10 à 25mètres d'épaisseur. En général, ces derniers sont influencés par divers facteurs qui sont le climat, la roche sous-jacente, le relief, le temps ainsi que les êtres vivants⁹.

⁹ (DERRUAU (M.), 1995).

Dans la partie Nord et Centrale : les sols sont de type ferrallitique rouge à brun sur granite où l'on rencontre quelque fois des affleurements de cette roche. Il est moyennement désaturé, l'horizon A est mince ; l'enracinement est donc superficiel. L'horizon B apparaît très nettement et est faiblement dégradé.

Dans la partie Sud-est : Les sols sont de couleur rouge ou jaune sur granite ; ils sont de type peu évolués. Les sols rajeunis et peu évolués dominent l'ensemble de la zone occupant surtout les versants et les bas de pente où il y a les terrains de cultures.

En ce qui concerne les sols des versants, ils sont recouverts par une couche épaisse des formations superficielles, de colluvions provenant de l'altération et de l'érosion des sols (Cf Photo n° 3).



Photo n°3 : Une grande épaisseur de 15 mètres des altérites (Source : cliché de l'auteur, septembre 2016)

Les bas-fonds peu étendus sont occupés par des sols peu évolués hydromorphes. Les prélèvements correspondent aux trois toposéquences sur le replat sommital, pente, bas de pente montrent la fragilité de la structure du sol notamment sur les versants (Cf Tableau 6). Les parties sommitales sont majoritairement recouvertes par des tapis graminéennes. Les matières organiques sont encore prononcées. Certes, l'activité humaine entraîne l'amincissement des horizons humifères, l'enlèvement de portion de profils. L'épaisseur des altérites est considérable au niveau des pentes tandis que les matières organiques

s'appauvrissent elles-mêmes. L'efficacité de l'érosion dépend de leurs épaisseurs ; plus ils sont épais et anciens plus l'érosion s'accroît du fait de leur friabilité.

Tableau n° 5 : Localisation des zones de prélèvement pédologique

Type de végétation	Lieu	Localisation	Altitude
1- Forêt naturelle	Antanetilava	18°59'44.9" 47°13'57.1 "	1382 m
2-Boisement d'Eucalyptus	Ankalalahana		1376 m
3- Herbeuse	Ampamoloana	18°59'30.9" 47°13'44.6	1369 m

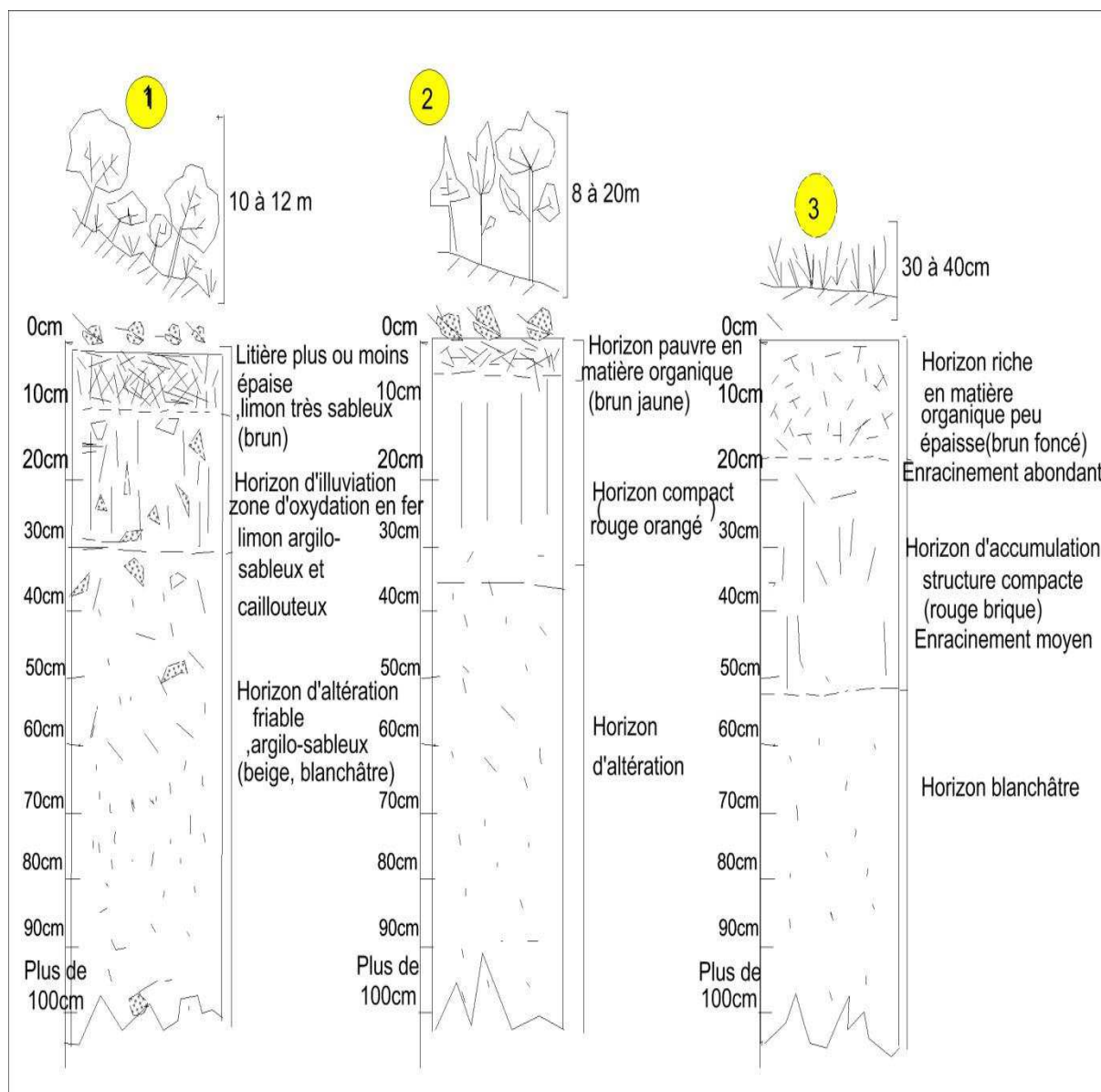


Figure 13 : Profils pédologiques des zones de forêt naturelle, de boisement d'Eucalyptus et des zones herbeuses (Source : conception de l'auteur d'après les observations sur terrain)

En effet, comme évoqué plus haut, l'épaisseur et la dynamique des sols sont étroitement liées à sa position topographique. Les parties les plus élevées sont les plus anciennes là où commence le travail de ruissellement. Ces parties sont soumises à la présence des savanes. Les zones au niveau des pentes sont les plus fortement et altérées. Ce sont aussi celles qui sont le plus soumises au drainage et au lessivage du fait de leur propre pente. Par contre, les parties basses de la toposéquence ont été rajeunies par les processus de décapage superficiel liés au foisonnement vers l'aval des eaux de ruissellement et à l'incision du réseau hydrographique. Les couvertures graminéenne y prédominent tandis que la forêt de Tapia et d'Eucalyptus occupent surtout les versants.

Ces sols manquent de cohésion et sont sensibles à l'érosion. Ils sont en général épais, anciens et fortement altérés. Leur consistance est plus faible. En effet, les sols ont de l'influence sur la couverture végétale en fonction de leur perméabilité. Certains « seuils » sont dépassés lorsque la végétation a été dégradée.

IV. 4 Une Couverture végétale fragile et menacée.

En observant la répartition de la couverture végétale, le terrain de recherche se distingue par des ensembles bien définis. La partie occidentale et orientale de la zone sont caractérisées essentiellement par la Forêt de Tapia tandis que la partie septentrionale est prédominée par des savanes. La première est composée en majorité d'*Uapaca bojeri* espèce endémique connue pour être la source des vers à soie malgache du genre *Borocera* ; elles sont considérées comme des forêts reliques, couvrant une superficie totale de 2 600 km² dont 2588 ha couvrent la zone de recherche. D'après la figure 14, la superficie de la forêt primaire se rétrécit actuellement en se référant à celle de l'année 1990 et 2000 (Cf figure 2 , page 6).

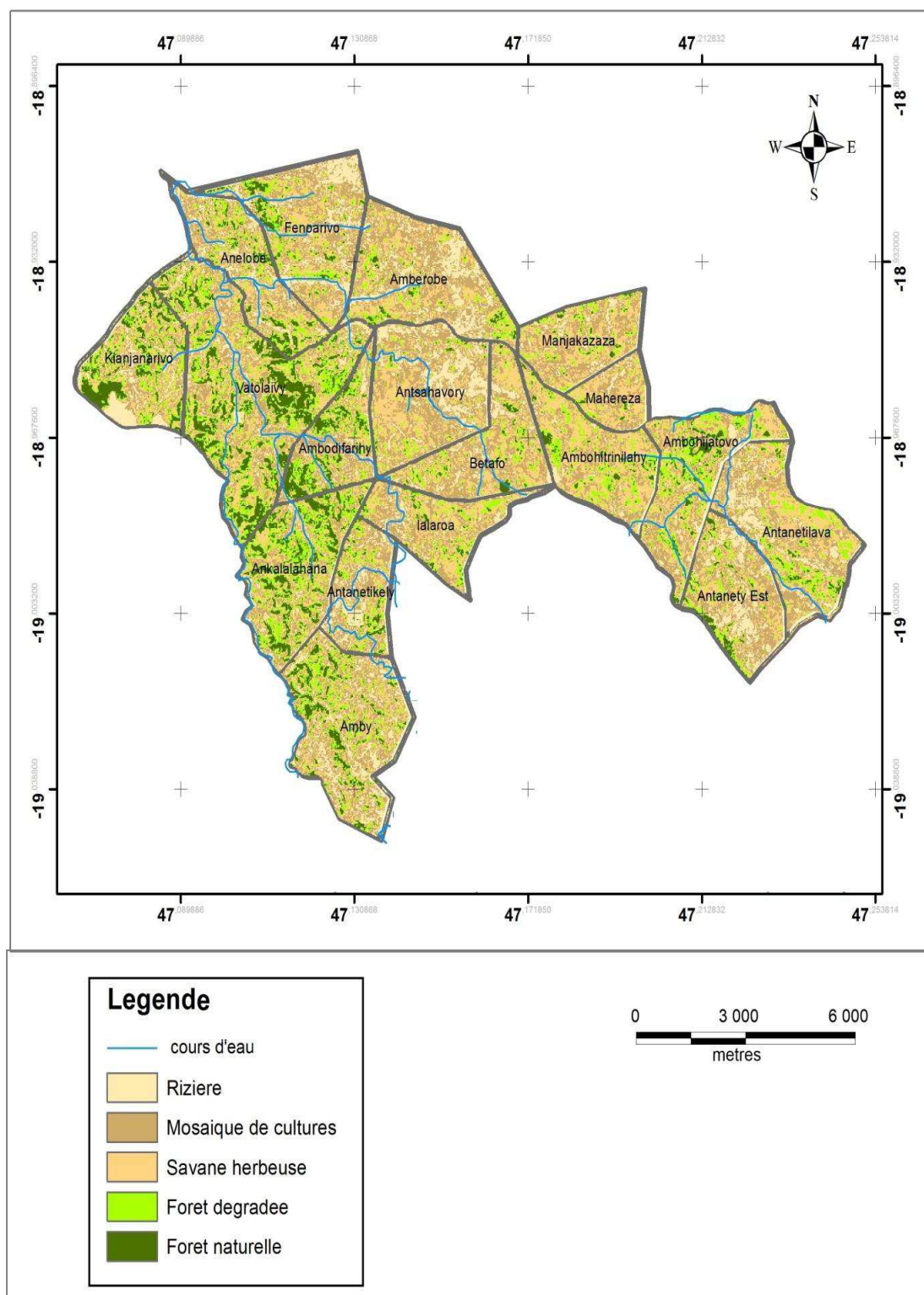


Figure 14 : Couverture forestière d'Arivonimamo en 2016 (source : Google earth 2016 et travaux de terrain, arrangé par l'auteur)

Cet écosystème unique en son genre est fortement menacé et se dégrade de plus en plus. Elle est menacée par la destruction humaine à travers les feux de brousse, la production de bois de chauffe et de charbon de bois, l'extension de l'agriculture et l'envahissement par des espèces exotiques de reboisement. Bien que les arbres tolèrent assez bien le feu, sa

répétition détruit la capacité de régénération de l'espèce. C'est la raison pour laquelle la forêt de Tapia commence à s'éclaircir de plus en plus, en tant que formation endémique, leur mode de reproduction est très lente, plus vulnérable alors que ces espèces récemment introduites sont beaucoup plus résistantes avec une vitesse de production plus ou moins accélérée. Par conséquence, elles se sont devenues des lambeaux forestiers. Le défrichage a commencé dans les zones favorables à l'agriculture comme le bas de versant. La forêt de Tapia n'a pas pu se reconstituer, et réduite à une formation herbacée, progressivement plus ouverte. Dans la partie orientale de la zone, il a été constaté qu'à partir de 1200-1300 m sur les versants Est et 1000-1200 m sur les versants ouest, le Tapia cède la place au peuplement de Pinus. Cependant, ce dernier ne protège pas les crêtes face aux actions de vents et aux agents météoriques.

Les caractéristiques du climat entrent également parmi les facteurs favorisant la modification des milieux naturels. La situation géographique de la région influence sur la caractéristique du climat ainsi que ses effets sur les milieux naturels.

IV-5 L'influence du caractère contrasté du climat

Une des caractéristiques remarquables de ce type de climat est la forte intensité des pluies sur les surfaces des sols. Elle est le principal agent morphologie de paysage.

IV.5.1 L'agressivité des précipitations

Dans ces régions, le phénomène érosif est accentué par le climat de type tropical à deux saisons¹⁰. La masse d'air apportée par la mousson venant du Nord-Ouest est responsable de grosses pluies d'été. Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN $P = 2T$ (cf Figure 15) montre que la zone est caractérisée par un climat à deux saisons bien distinctes. Une saison sèche et humide dont cinq à six mois sur douze sont secs. La première commence au mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, la courbe des précipitations sont au-dessous de celle des températures dont la quantité pluviométrie est inférieure au double de la valeur des Températures. La saison des pluies démarre régulièrement au mois de novembre et se termine au mois de mars dont la courbe de la température se situe au-dessus de celle de la température. Durant cette période, la quantité des précipitations est largement supérieure au double de la valeur de la température.

¹⁰ (Donque, 1970)

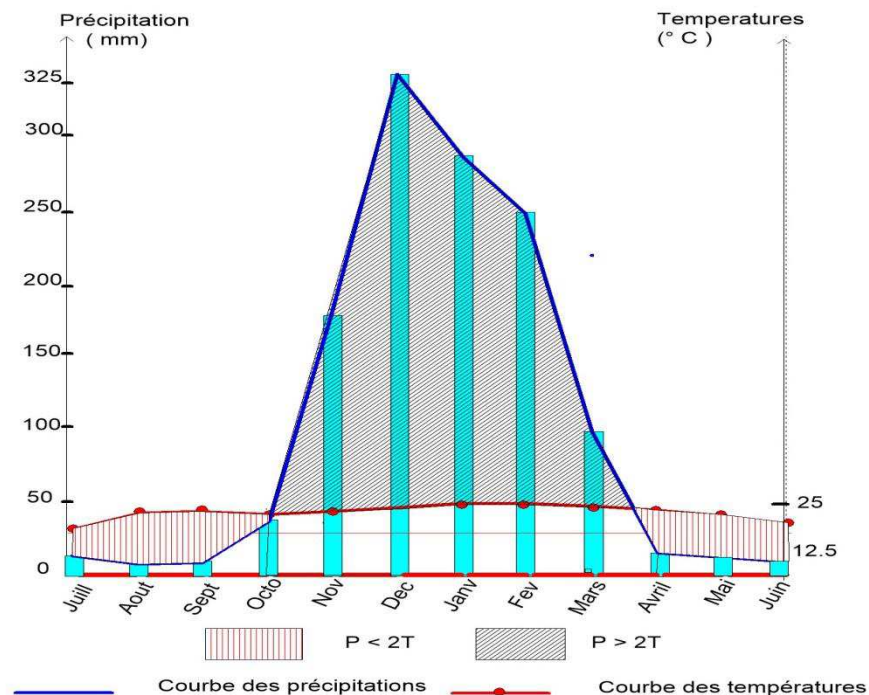


Figure 15 : Courbe ombrothermique d'Arivonimamo de 2004 à 2014

Pendant la saison humide il tombe plus de 80 à 90% des totaux annuels des précipitations. La pluviosité moyenne annuelle est de 1430.9 mm dont le mois de Décembre enregistre la plus grande quantité de pluviométrie (311 mm). Par contre, cette quantité diminue progressivement, en saison sèche, le mois de juin est le mois le moins arrosé avec 74.4mm. A Arivonimamo, les pluies érosives, engendrent les départs des particules fines. La moyenne de l'humidité relative se trouve autour de 76 %, influencé par l'altitude plus élevée à l'Est et du régime de l'Alizé plus nette sur les Hautes terres centrales.

En outre, les dynamiques de la dégradation du sol sont fonctions des conditions hydriques. D'après le tableau n°9, les coefficients pluviométriques mensuels restent inférieurs à 1 confirme la sécheresse. Elle s'explique par le retrait de la mousson et le retour du régime de l'Alizé sec. De ce fait, le bilan morphopédologique vire alors à l'avantage de la pédogenèse. Le retour de la saison humide se manifeste par la remontée brusque de la courbe des précipitations.

Tableau n°6 : Valeurs CPM des données pluviométriques de 2004 à 2014

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyennes mensuelles	281,2	228	180,6	56,28	15,8	5,12	4,64	4,26	2,72	63,62	170,8	246,2
Valeur CPM	2,68	1,93	1,72	0,5	0,2	0,05	0,04	0,04	0,03	0,6	1,68	2,35

(Source : Service météorologique Ampandrianomby, arrangée par l'auteur)

La courbe des précipitations (P) qui passe au-dessus de celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) de la mi-octobre à mi-mars montre une généralisation du ruissellement et de recreusement des ravins préexistantes. Le phénomène érosif apparaît puisque les sols sont saturés. Les valeurs de CPM restent supérieures à 1. Ainsi, après la saturation du sol, au mois d'avril, le ruissellement et le drainage commence à diminuer, de mi-mars au mois d'avril, les sols utilisent ses réserves. Par ailleurs, la courbe de précipitation qui passe au-dessous de celle de l'ETP du mois d'avril à la mi-octobre indique un déficit hydrique ; ce qui signifie que les réserves sont épuisées. Cette période s'installe à partir du mois du juin à mi-octobre où les précipitations occultes se prédominent ; c'est pourquoi, la saison fraîche n'est pas complètement sèche. (Cf Figure 16).

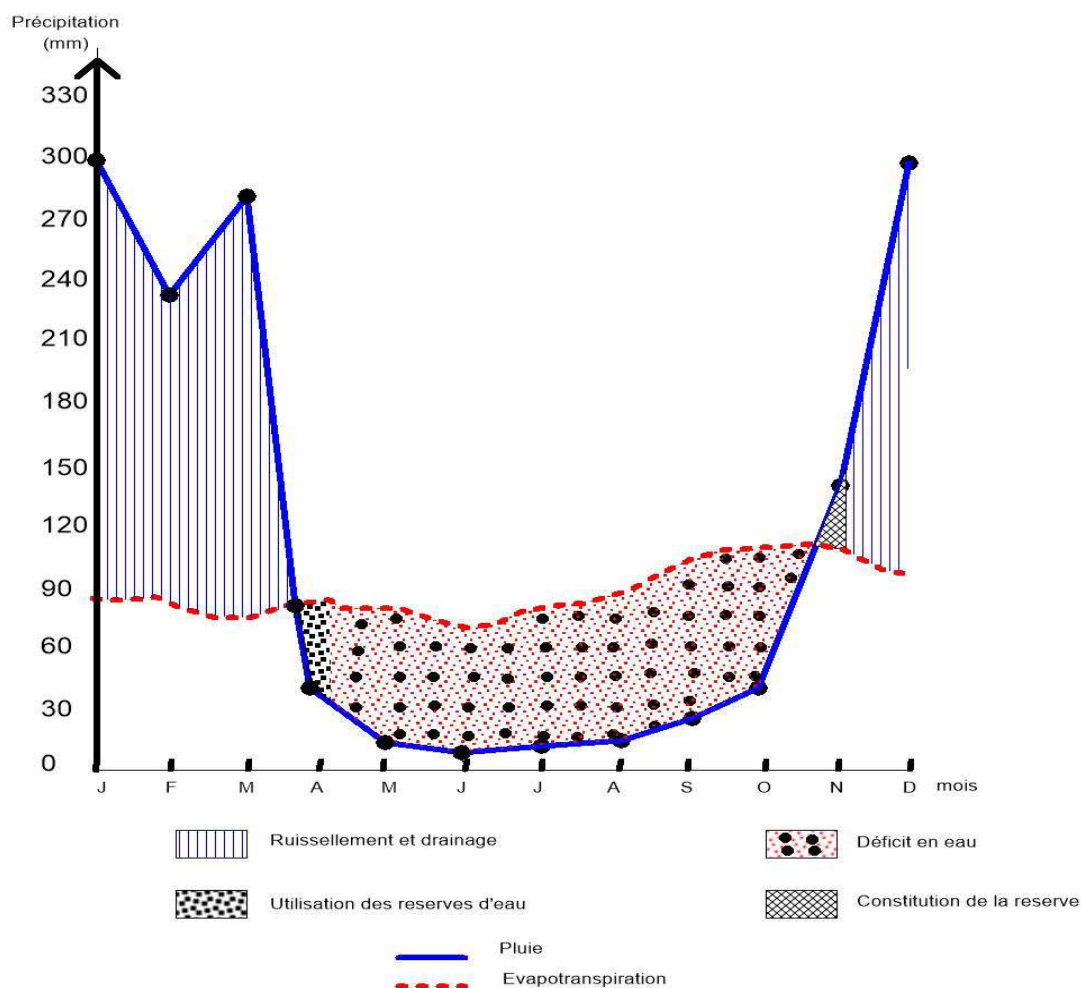


Figure 16 : Bilan hydrique de la zone rurale d'Arivonimamo (2004-2014)

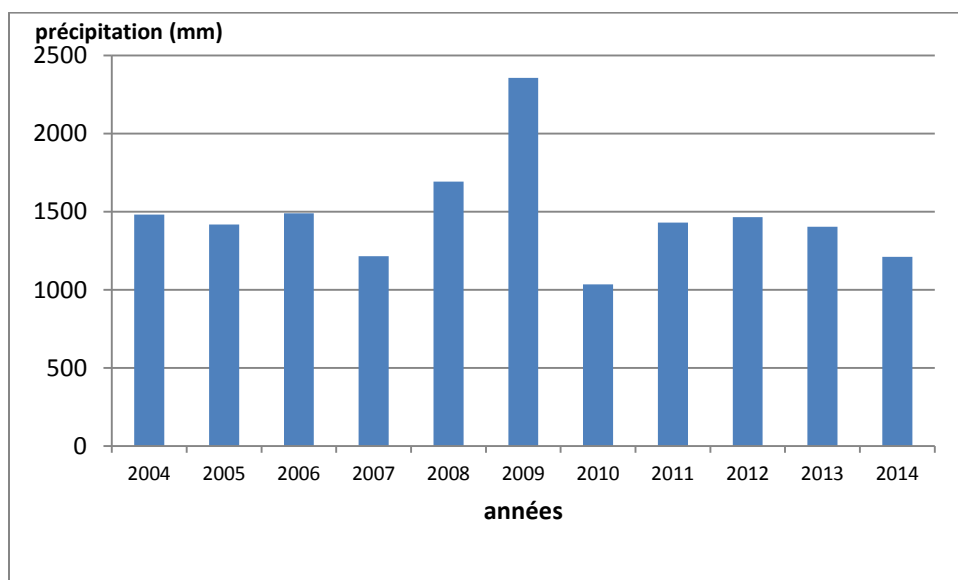
Les végétations limitent leur besoin en eaux ; la plupart des plantes sont en repos. En conséquence, le sol est perméable lors de la première pluie de la saison pluvieuse. Les

pluies que ce soit précoces ou tardives ont des effets sur les surfaces, tant au niveau de la structure qu'au niveau du ruissellement. La forte intensité des pluies surtout leur concentration sur une courte période constitue un facteur non négligeable sur la destruction de la structure du sol. Il en résulte une grande agressivité des précipitations qui se traduit par des risques élevés de dégradation de la structure superficielle des sols lorsqu'ils ne sont pas protégés par une couverture végétale. La surface subit l'effet de splash ou impact des gouttes de pluies. Sous l'effet de ce phénomène, les éléments fragilisés se désagrègent et forment des pellicules à structure litée à porosité fermée, qui augmentent les coefficients de ruissellement et une formation de croûte de battance. Lorsque l'infiltration et le drainage sont importants, les risques de lessivage et de lixiviation des éléments nutritifs sont considérables. De ce fait, l'altération chimique ou biochimique s'effectue par le biais de l'eau et des microorganismes (champignons, algues, faune du sol, etc.). L'action de l'eau (H_2O) et ces organismes contribuent significativement à plusieurs processus comme la dissolution, l'hydrolyse, l'hydratation. Effectivement, l'eau par ses propriétés acido-basiques et l'oxydo-réductrice joue un rôle important dans l'altération des roches.

Les précipitations en tant que principaux agents d'érosion, elles donnent naissance à la sédimentation tout comme le colluvionnement ; le ruissellement constitue un des vecteurs de transports et favorise les dépôts de matériaux dans les bas-fonds.

D'après la figure 17, les précipitations sont inégalement réparties durant les dix dernières années. Et par rapport à la moyenne de 11 ans qui est de 1472.9 mm, à titre d'exemple, les écarts maxima à cette valeur ont été de 883.1 mm en 2009 et de - 437.9 mm en 2010. Cette variation annuelle conduit à une dégradation des milieux naturels. Le ruissellement est nettement intense entre les années 2007 et 2009. Ce sont notamment des années d'accroissement des processus érosifs dans la zone. A partir de 2010, les précipitations ont diminué brusquement. La régénération de la structure des sols a été perturbée.

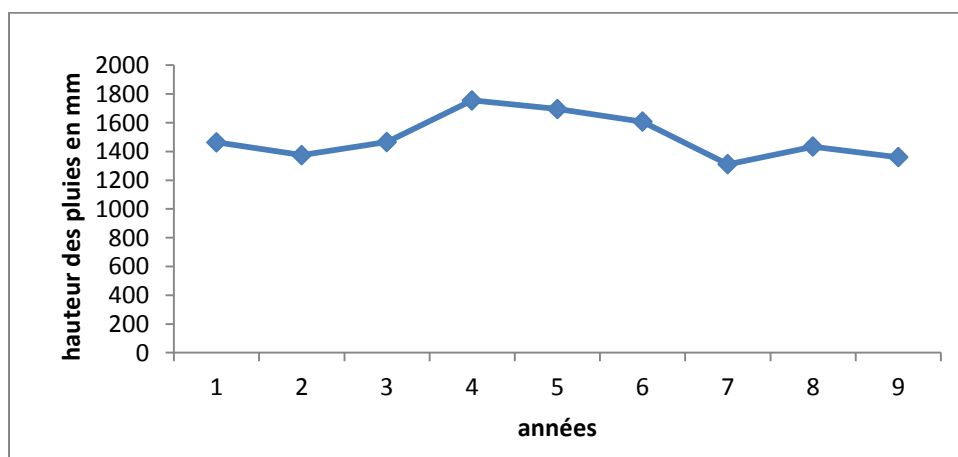
Figure 17 : Quantité pluviométrique annuelle de 2004-2014



(Source : données pluviométriques mensuelles, météorologie Ampandrianomby ,arrangée par l'auteur.)

En plus, pour connaître l'évolution du climat à moyen terme, la méthode des moyennes mobiles de DUPRIEZ et DE LEENER, 1991 a été utilisée pour pouvoir se référer. Le graphique 18 a permis de constater une oscillation des précipitations moyennes annuelles. Ce graphique montre que le climat tend vers l'assèchement. En conséquence, près d'une dizaine d'années, le climat connaît une crise écologique marqué par un déséquilibre microclimatique, qui résulte de la dégradation de l'environnement et de la variation climatique que la planète terre subisse. D'après les enquêtes, l'ensemble de la population ont éprouvé la variation des précipitations d'une année à l'autre. Les agriculteurs supportent cette situation ; leurs cultures sur les tanety dépendent principalement des pluies.

Figure 18 : Courbe des moyennes mobiles

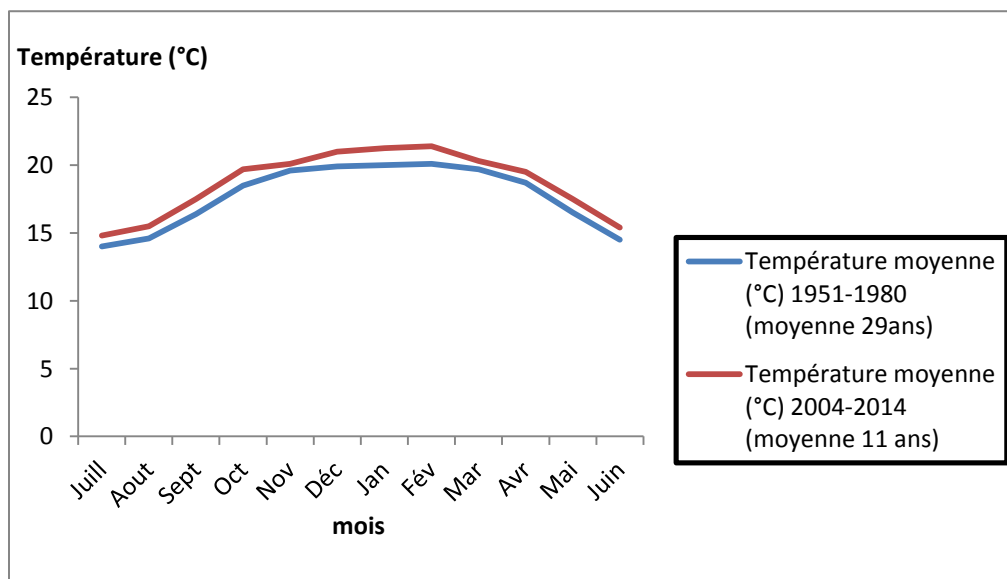


(Source : Auteur, confectionné à partir des résultats des moyennes mobiles.)

IV .5.2 L'importance de la température :

Les températures les plus fortes sont enregistrées entre le mois d'octobre et le mois de mai pendant la saison humide. Le mois de janvier enregistre la valeur la plus élevée 26°8 C tandis que le mois de juillet a une valeur de 19°4 C. La température moyenne est de 21°1 C. Les écarts diurnes l'amplitude journalière varient peu. La période de la saison pluvieuse coïncide avec la hausse de la température ; cette période favorise la désagrégation mécanique des roches ainsi que la dissolution et l'action de l'hydrolyse. En plus, la faible amplitude annuelle autour de 7°4 C aurait effectivement pour conséquence de façonner le modelé des paysages puisque moindre variation de la température de l'eau du sol accélère la vitesse des réactions chimiques qui aboutit à la libération complète des constituants des minéraux et la formation des zones d'altération ; la faible des écarts des températures tout au long de l'année influe sur la dynamique de la matière organique dont la minéralisation est accélérée. Celles-ci ne cessent d'augmenter, la population locale a constaté et a également ressenti cette évolution. D'après la figure 19, une augmentation de 1°5C a été constaté au cour de ces vingt dernières années. Ce qui amplifie la vitesse des décompositions des roches. L'orientation et la pente du versant peuvent aussi avoir une influence puisque le versant ouest est beaucoup plus exposé au soleil l'après -midi, et est plus chaud et sec que le versant Est. La plupart des Lavaka, chute des blocs ont été localisés sur les flancs ouest des versants.

Figure 19 : Evolution de la température moyenne mensuelle d'Arivonimamo pour les périodes 1951-1980 et 2004 -2014



(Source : données pluviométriques mensuelles, météorologie Ampandrianomby ,arrangée par l'auteur.)

Ainsi, l'action anthropique perturbe l'équilibre des milieux naturels par le biais de leurs activités. Dans ce sens, l'homme joue un rôle prépondérant dans le façonnement des versants et la provocation du phénomène de l'érosion.

CHAPITRE V. L'HOMME : AGENT MORPHOGENIQUE ET DE DYNAMIQUE DIRECT DU PAYSAGE

Dans la zone rurale d'Arivonimamo, l'homme vit au profit de la potentialité de ressources naturelles. L'augmentation de la population connaît largement des conséquences sur les fonctionnements de l'écosystème.

V.1 Un paysage anthropisé

Pour pouvoir comprendre l'évolution de l'occupation du sol pouvant édifier progressivement les paysages, la connaissance des diverses activités exercées sur les milieux naturels est nécessaire.

V.1.1 Une forte occupation du sol

Historiquement, le nom Arivonimamo a été donné au XVIIIème siècle pendant la royauté. C'était un petit royaume indépendant avant l'unification de l'IMERINA par le Roi ANDRIANAMPOINIMERINA. Les vestiges de cette histoire sont encore conservés tant bien que mal et font l'objet de différents pèlerinages (tombeaux des anciens rois, les différentes infrastructures de cette période.). Actuellement, Arivonimamo est le Chef-lieu du District d'Arivonimamo, le troisième district qui forme la région d'Itasy après celui de Miarinarivo et de Soavinandriana. La longue histoire de l'expansion territoriale de la monarchie Merina a beaucoup apporté de changement sur le nombre de la population ainsi que son mode de répartition dans le temps et dans l'espace. La zone d'habitat se trouve généralement sur les collines en suivant l'installation de peuple sur le site protégé, entouré de Hadivory. Actuellement, les habitants s'étendent vers les bas-fonds et les zones planes puisque les sites en amont sont saturés ; cette disposition résulte vraisemblablement de l'exiguïté de l'espace aisé et de la croissance de la population. La morphologie du paysage influence les modes d'occupations humaines. D'ailleurs, une relation étroite existe entre la potentialité des sols et la densité du peuplement. La population est essentiellement concentrée dans la partie septentrionale et Sud-ouest et est principalement composée de l'ethnie Merina avec un taux de 91% ; ainsi, l'arrivée des immigrants composés surtout par les ethnies Betsileo depuis une dizaine d'années amplifie l'occupation des sols. En effet, ces derniers ont une faible part des terrains cultivables ; La majorité d'entre-eux ont préféré aménager de nouvelles parcelles et se livrer à la métayage.

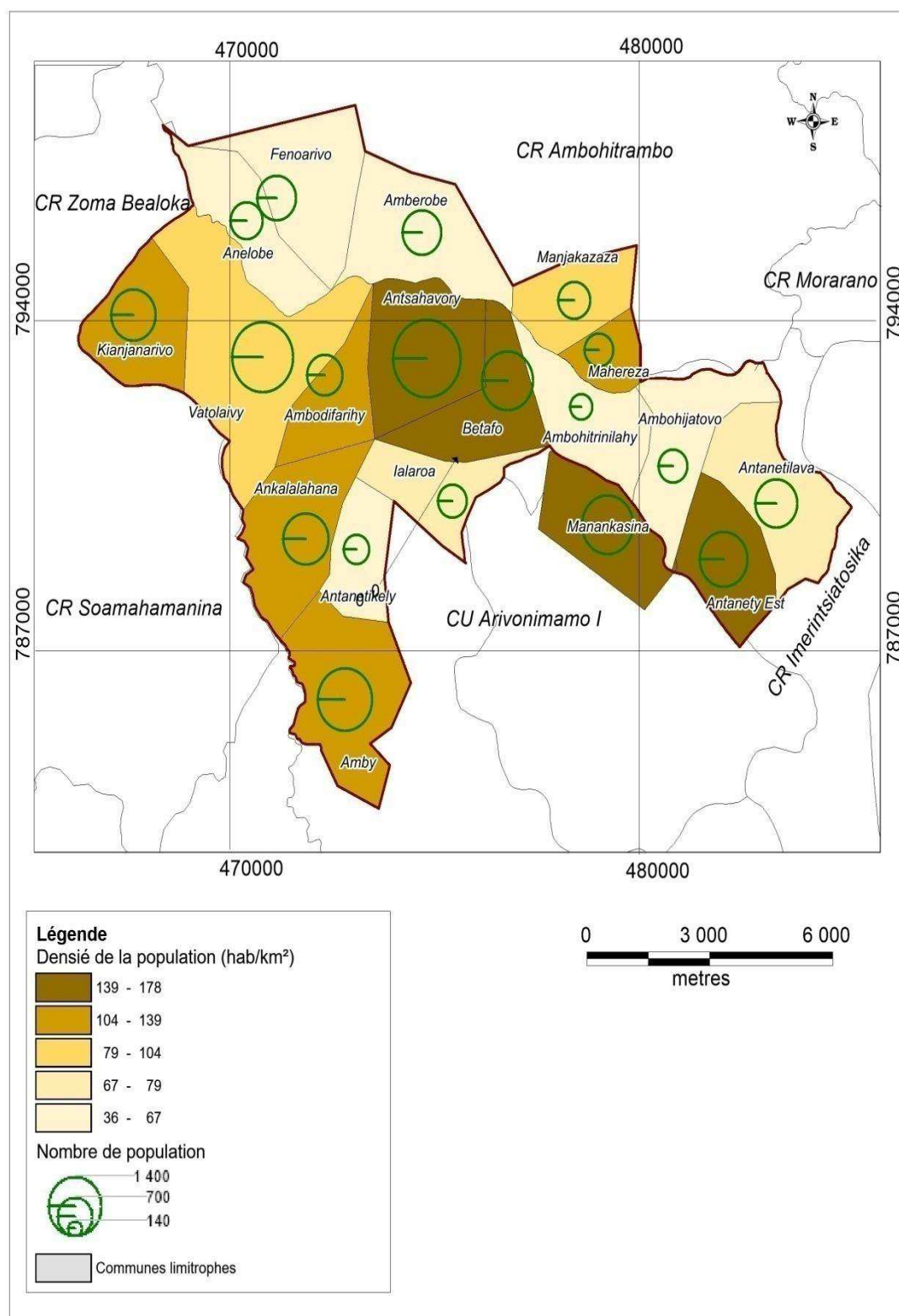


Figure 20 : Répartition et la densité de la population en 2014 de la zone rurale d'Arivonimamo (Source : Statistiques des communes, Arivonimamo I, Arivonimamo II, Ambohitrambo, 2014)

Selon la figure 20, la zone de recherche connaît une forte occupation humaine ; cette population est inégalement répartie dans l'espace. La concentration de la population se localise généralement dans la partie Nord, Est, Sud et Sud-ouest de la zone. La partie Sud et Sud-Ouest de la zone de recherche est fortement peuplée à savoir les fokontany d'Amby, Antanetikely, Ankalalahana, Vatolaivy, Kianjanarivo et Ambodifarihy qui comptent 36 % de la population totale. Elle est localisée essentiellement aux environs de la forêt de Tapia. Quant aux autres parties, celles du Nord (Betafo, Antsahavory, Manjakazaza...) et de l'Est (Antanetilava, Ambohijatovo, Antanety Est) sont peuplées par respectivement 21.6 %, 24 % tandis que celle du Nord-Ouest compte carrément 18 % (Cf Figure 21). Elle occupe la zone de savane et forêt de reboisement. En général, la densité est largement supérieure à la densité moyenne de la population de la zone de recherche qui est de 44,09 habitants par km².

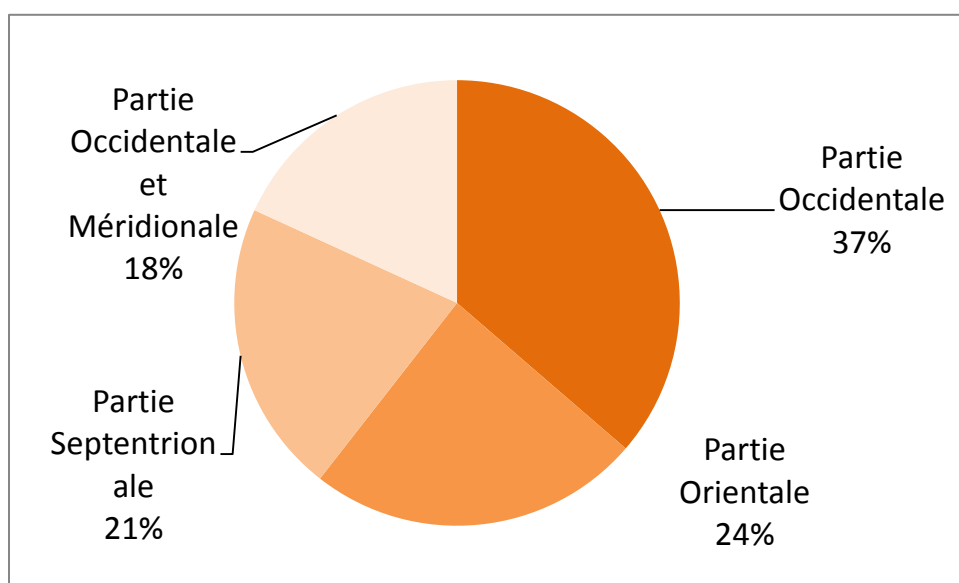


Figure 21 : Concentration de la population dans la zone de recherche.

Par comparaison avec la figure 10, page n°23, il a été constaté que l'occupation est fonction des pentes qui varient de 8 à 11% ; l'accessibilité à l'eau explique entre autres la concentration, les cours d'eau se croisent dans ces zones basses notamment dans la partie Ouest. D'ailleurs, la forte occupation de la population résulte effectivement de la potentialité des milieux naturels où certaines zones offrent de paysage plus adapté à son mode de vie. La pyramide (Cf figure 22) montre une allure régulière avec une base plus étendue avec un sommet rétréci. Elle illustre la jeunesse de la population avec un taux de 51,95 % tandis que celle en âge de travailler constitue environ 39 %. Les femmes sont beaucoup plus nombreuses que les hommes. Cette situation s'explique par l'absence de politique sérieuse sur l'éducation et formation des jeunes, le mariage précoce ainsi que le niveau de vie de la majorité de la population.

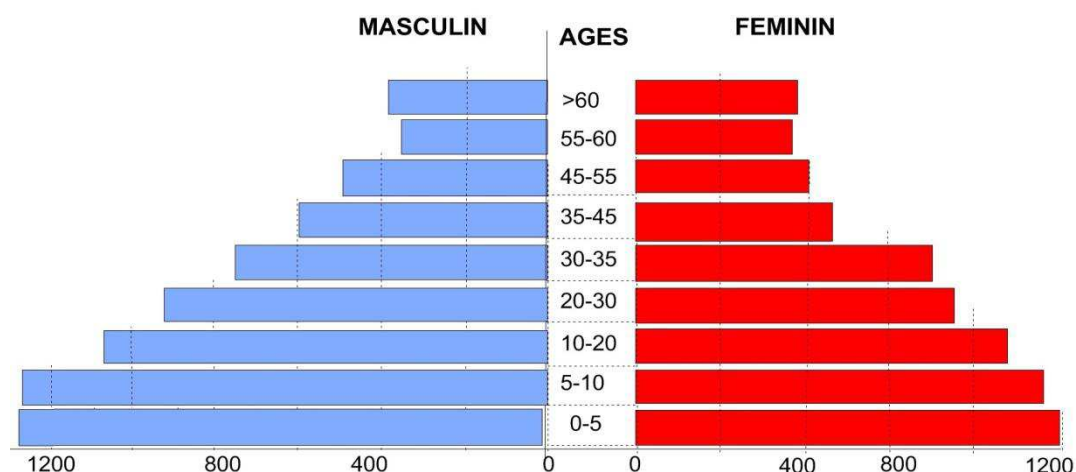


Figure 22 : Pyramide des âges de la population (2014)

Comme toute autre activité, la population s'adapte à la condition géographique et essaie de tout mettre en valeur à son avantage. La concentration de la population conduit à une modification des milieux naturels puisque la situation économique de la zone rurale d'Arivonimamo dépend essentiellement de la possibilité de ressources naturelles.

V .2 Des activités économiques dépendantes des ressources naturelles

Dans cette zone rurale, l'économie est prédominée par le secteur primaire tel que l'agriculture, la cueillette et l'élevage.

V.2.1 Les dynamismes des activités agricoles : principaux facteurs érosifs

L'activité agricole emploie près de 85 % de la population active. Cette agriculture se caractérise par une prédominance de la production de subsistance fondée sur les céréales vivrières, (riz, sorgho et maïs) qui occupent plus de 88% des superficies cultivées et de petites exploitations familiales, avec une superficie variant entre 1 à 2 hectares. Des relations existent entre le relief, les types de sols et leurs aptitudes culturales¹¹. La majorité des cultures occupent tous les vallons et longent les cours d'eau en exploitant un maximum de surface sur les rives. La plus grande partie de la production a été destinée à la consommation familiale. A part la culture de riz pluviale et irrigué, les maniocs, les tomates, les kakis ainsi que les ananas connaissent un rendement très spécifique à la zone. La superficie totale cultivable est de 2 273 hectares (17,5 % de la superficie totale) , dont 1 069 hectares cultivée. Les productions ne répondent plus aux besoins de chaque ménage. La population élargît

¹¹(BOURGEAT (F), 1973)

bien évidemment leur terrain de culture, elle a recouru à la culture d'ananas dont elle constitue une principale source monétaire pour les paysans notamment ceux qui sont dans la partie centrale et australe de la zone, du côté du Fokontany d'Antsahavory, Betafo, Manjakazaza, Mahereza, Amberobe et Fenoarivo. Laquelle tient la deuxième place après la riziculture. C'est ainsi s'expliquerait l'intensification des systèmes cultureux en vue d'accroître la production puisque les sols des bas-fonds et dans les bas de versant commencent à s'épuiser. Cette situation se manifeste par une augmentation des superficies défrichées qui conduit à la mise en culture de terres agricoles marginales. (Cf. Figure 23) La plantation d'Eucalyptus et de Pinus à la lisière des forêts de Tapia marque le début de la conquête des terrains des cultures.

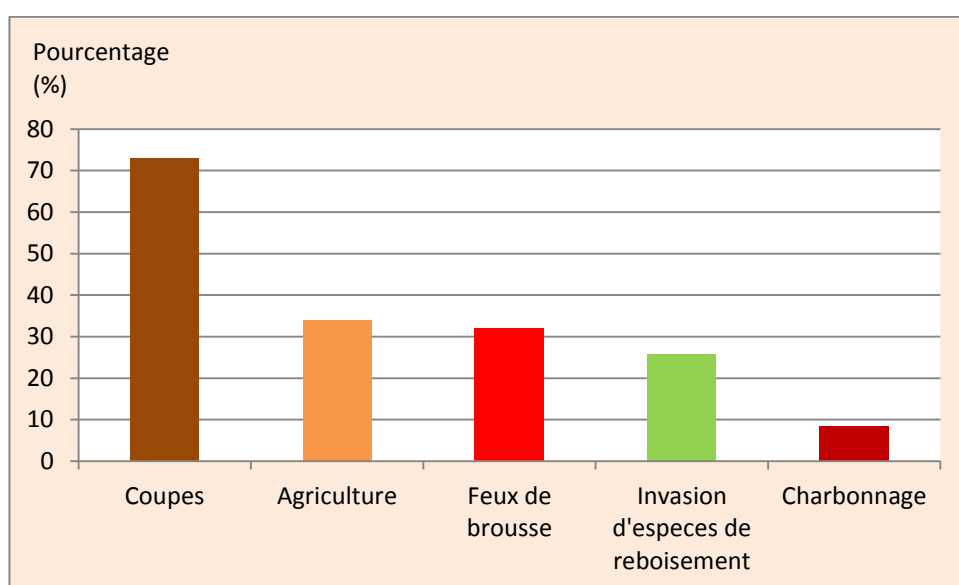


Figure 23 : Le rapport des facteurs de la régression de la forêt (source : enquêtes personnelles)

En plus, les feux de brousse ont des rôles importants dans la vie des paysans¹². Ils sont utilisés pour le nettoyage des terrains de culture et de pâturage. Il en résulte une extinction des êtres vivants dans le sol. En outre, la réduction de la durée des jachères menace le renouvellement de la structure des sols. En effet, l'emblavement quasi-total risque d'engendrer diverses formes de dégradation des sols, parmi lesquels l'appauvrissement inévitable en matières organiques ou humus des sols surtout lorsque la végétation naturelle est remplacée par des cultures comme les céréales avec ses conséquences défavorables sur la structure superficielle des sols

¹² (Kull, 2003; Kull, 2004)



Photo n°4 : Forêt de Tapia incendiée dans le Fokontany Kianjanarivo

Au premier plan, rizières mises en repos après la récolte du riz

Au deuxième plan se trouve la forêt de Tapia incendiée

(Source : Cliché de l'auteur, Septembre 2016)



Photo 5 : Feux de brousses dans le Fokontany d'Antanetilava

Au premier plan se trouve le reboisement d'Eucalyptus

Au deuxième plan, les feux de brousses sur le versant

(Source : cliché de l'auteur, Septembre 2016)

Même si le brûlis sert à activer la repousse du pâturage, la pratique des feux est effectivement dégradante ; les microorganismes ont été éliminés complètement sous l'effet de la température élevée.

V.2.2 L'exploitation forestière et aurifère informelle

La forêt procure des ressources essentielles durant les périodes de soudure où les ménages de la zone de recherche se trouvent dans une situation financière difficile. Les produits forestiers non ligneux et ligneux jouent un rôle important dans l'économie locale informelle. La forêt contribue 7% de l'économie monétaire locale. La quantité et la qualité des produits forestiers aux plantes médicinales, les bois de chauffe, les charbons de bois, les soies sauvages, les fruits comestibles et les champignons jouent un rôle important dans l'économie locale. Le prélèvement des bois de chauffe se pratique quasiment tout au long de l'année par les 90% des ménages environnants de la zone forestière. Malgré l'existence d'autres plantations forestières qui ont été destinées aux besoins de ménage, la surexploitation du bois en vue d'une production de charbon fait partie des causes de dégradation de la forêt de Tapia, une activité rémunératrice qui repose sur l'assurance d'un débouché sur une demande urbaine importante et toujours croissante à l'exemple de certain Fokontany, particulièrement dans le Fokontany d'Amby et d'Ankalalahana.

Quant à l'exploitation aurifère, elle est une source de revenu complémentaire, l'orpaillage étant toujours marginal puisque la plupart de sites d'exploitation se situent au cœur de la forêt elle-même. Les sous-bois herbacés sont débroussaillés, actes dont les orpailleurs ne sont pas conscients du tout, ce qui conduit à la dégradation des versants qui vont être tronqués. Toute mauvaise exploitation a toujours des répercussions sur les milieux naturels et perturbent l'équilibre écologique (Cf Photo n° 6 et n° 7).

Ainsi, l'usage fréquent de la forêt entraîne sa destruction à travers l'exploitation du sous-bois et le passage journalier des animaux. Son rôle en tant que filtre naturel diminue progressivement et favorise le ruissellement en surface. Le sol se dégrade peu à peu, accentuant ainsi l'intensité de l'érosion. Entre autres, l'activité économique surtout la ferronnerie pour confectionner différents outils-machines comme les charrues, les sarcleuses, les angady conduit à la forte consommation de charbon de bois. Cette dernière est essentiellement concentrée dans le fokontany d'Antsahavory et celui de Betafo.

Plusieurs facteurs interviennent dans le processus érosif sur les versants de la zone. Les milieux naturels se dégradent un peu partout, et que le paysage devient vulnérable face au phénomène d'érosion hydrique notamment sur les pentes accentuées. Ainsi, la surexploitation des ressources naturelles menace toutes les bases des milieux. Cette situation a de conséquence tant sur le versant lui-même que sur l'environnement.



Photo n°6 : Exploitation aurifère dans la forêt de Tapia (Source : cliché de l'auteur, Septembre 2016)



Photo n°7 : Exploitation aurifère au niveau des versants (Source : cliché de l'auteur, Septembre 2016)

CHAPITRE VI . LES ASPECTS DE L'ÉROSION SUR LES VERSANTS DE LA ZONE RURALE D'ARIVONIMAMO

La sorte de processus d'érosion varie d'un endroit à l'autre, selon différents critères : pédologique, topographique, couverture végétale etc. Elle se manifeste sur le paysage sous différentes formes.

VI.1 La partie Septentrionale : une zone caractérisée par l'érosion en nappe et en rigole

Elle affecte tout le modelé du relief et caractérise généralement les terrains cultivés. Tous les ans, au début de la saison humide, tout de suite après la première pluie, les agriculteurs sèment à la volée et enfouissent à 5cm de profondeur ; après le semis juste avant la levée vient la deuxième pluie assez violente et détruit les agrégats fabriqués par le travail du sol (Cf Photo n°8 et n°9). Une Croûte de battance observée sur la surface d'une parcelle de culture d'ananas à texture limoneuse, elle s'est formée après la levée. Ce phénomène est très caractéristique dans la partie Nord (Fokontany Manjakazaza, Amberobe, Mahereza). La prédominance des particules limoneuses et les excès d'eau fragilisent les agrégats. Ainsi, l'énergie de la pluie suivante les a fait éclater et les particules peuvent alors être transportées facilement par l'eau de ruissellement. En zone cultivée, les plantes sont incapables de remonter en surface les bases entraînées en profondeur par le drainage naturel.



Photo n°8 et n° 9 : A gauche, ensevelissement de la culture par l'érosion. La structure est instable. Les surfaces ont été fortement dégradées dès les premières pluies. **A droite, la présence des tâches claires et sombres indique l'érosion en nappe**, la couche de sol superficielle n'est pas homogène ; les particules fines ont été lessivées. (Cliché de l'auteur Septembre 2016).

Par contre, l'érosion en rigole (cf. Photo n° 10 et n° 11) affecte une faible profondeur de sol sur la large surface dont les processus principaux sont le détachement par les gouttes de pluies, le transport par un ruissellement laminaire.



Photo n° 10 et n° 11 : A gauche, un exemple d'érosion en rigole sur un champ de manioc récemment labouré à Antanetikely ; à droite, un champ de culture d'ananas affecté par les rigoles à Antsahavory, où les sols sont peu profonds (Source : cliché de l'auteur, septembre 2016).

Ceci favorise la concentration des eaux de surface constituant ainsi le point de départ d'une évolution en ravine. Il s'agit d'un processus de versant puisque les filets s'anastomosent et finissent par transporter progressivement les débris du sommet vers la base. Cette forme d'érosion constitue la principale dégradation des sols dans la partie centrale et septentrionale de la zone de recherche. Cet aspect d'érosion se manifeste notamment par le biais de l'eau de ruissellement, elle est la conséquence des modes d'occupations des sols et des activités de l'homme. Ces activités provoquent sa dégradation morphologique; la diminution de la porosité superficielle s'explique par le ruissellement plus abondant des eaux de pluies. L'érosion se développe rapidement. La vitesse du ruissellement au sein des versants augmente de façon considérable accroissant l'érosion en ravine.

V.2 La partie Occidentale : marquée par le ravinement et l'érosion en Lavaka

Le ravinement est souvent favorisé par l'homme et les animaux. Certaines ravines ont pu atteindre jusqu'à 2 mètres de profondeur et 1 mètres de largeur (Cf Photo n° 12). Les ravines grignotent le sol, elle se forme dès que le couvert forestier a été enlevé. Ils sont dus aux eaux de ruissellement concentré sur les versants, et évoluent ultérieurement en Lavaka lorsque leur profondeur atteint la nappe phréatique.



Photo n° 12 : Erosion en ravine (cliché de l'auteur, Septembre 2016)



Photo n° 13 : Lavaka actif sur un versant déboisé à Ankalalahana, Altitude 1311m, X : 18°59'47.6''/ Y : 47°07'41.0'' (cliché de l'auteur, Septembre 2016)

En outre, les Lavaka ne s'observent que sur les reliefs portés par des roches profondément décomposés avec une épaisseur considérable des altérites (Photo n°13). Ils sont généralisés dans la zone forestière où les facteurs interne et externe se combinent dans le déclenchement de Lavaka. En saison pluvieuse, le battement de la nappe proche de la surface amène à la saturation de surface du sol. La diminution de son niveau en saison sèche provoque une dessiccation de la surface du sol. Ce qui favorise le glissement des formations superficielles meubles et l'apparition des petites ravines tout au début de la saison des pluies (Figure 24). En outre, cette forme d'érosion apparaît essentiellement au niveau des zones où la pente est d'autant plus marquée, quelque fois là où se présente une épaisse couche de sol dépourvue de couverture végétale. En effet, ils ont d'une part, une signification paléoclimatique et d'autre part une explication anthropogène.

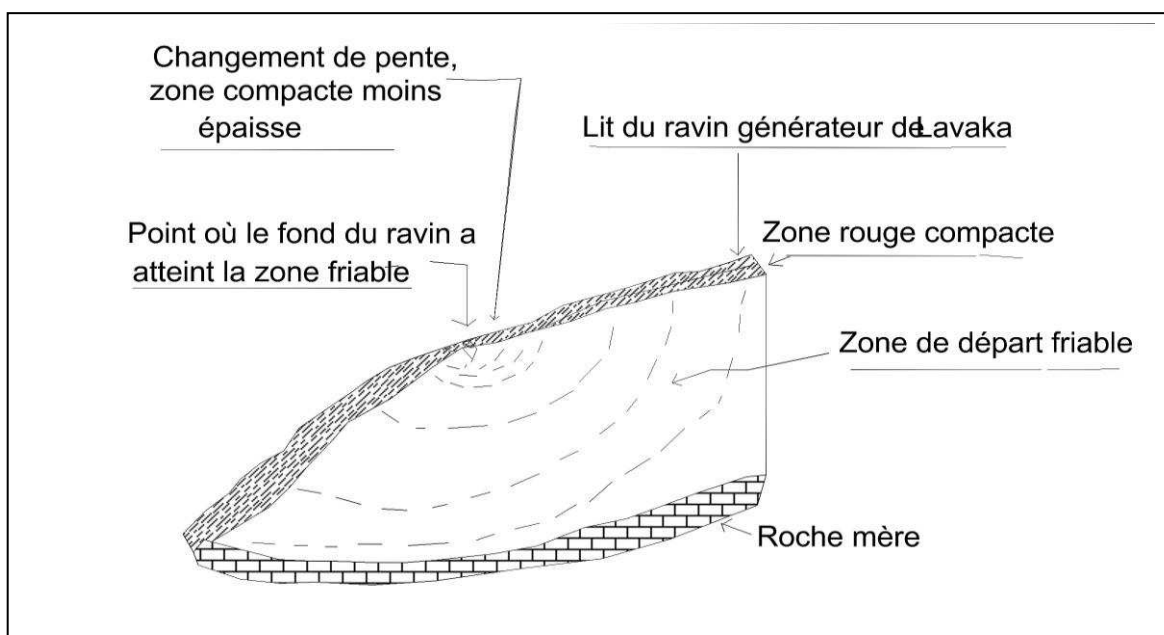


Figure 24 : Schéma explicatif de la genèse de l'érosion en Lavaka sur le versant (source, conception de l'auteur d'après les observations sur le terrain)

Après l'érosion en Lavaka, la chute de bloc est devenue un phénomène généralisé dans la partie orientale de la zone rurale d'Arivonimamo.

VI. 3 Les zones périurbaines : marquées par les chutes de blocs et le glissement de terrain :

Ils sont plus visibles dans les zones à risques comme à Manankasina. Les affleurements de granite migmatitique en saillie offraient une moindre résistance à l'érosion et altération. Ils sont essentiellement composés par des roches granitiques, leur texture grenue facilite la pénétration de l'eau ; celle-ci circule facilement, aussi bien latéralement que verticalement et maintient la présence des fissures et des diaclases. Ces roches ont été subies par le phénomène de thermoclastie, et se décontractent à cause de la forte chaleur. Elles se sont devenues des boules de granite, résultent d'une forte érosion par le biais des agents météoriques. Entre autres, les versants tapissés de ces boules ont des pentes raides de 18°. Or, la présence de la grande carrière sur ces versants aurait accentué le phénomène ; les actions répétées de vibration déclenchent de chutes de blocs et de glissements inconsidérés sur ces versants en l'équilibre déjà précaire. Les limites sont surpassées et l'équilibre se rompt. Le photo n°14 montre le détachement des blocs rocheux sur une ligne de crête et menace la population autochtone. Le phénomène se traduit par l'effet de la dégradation environnementale liée à la déforestation et aux fortes précipitations.



Photo n°14 : Chute des blocs à Manankasina

Au premier plan se situent les boules rocheuses qui se détachent des versants dues aux fortes pentes.

Au deuxième plan se trouve le village de Tsaramiakatra, Fokontany Manankasina

A l'arrière-plan s'aperçoit la zone de reboisement de Pinus et d'Eucalyptus

(Source : BNGRC, novembre 2015)

Quel que soit l'origine et la forme de l'érosion, son importance évolue dans le temps et dans l'espace. Elle aurait toujours des effets sur le paysage non seulement en amont mais aussi en aval.

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

Toutes les caractéristiques de la zone de recherche ont pu être dégagées dans cette deuxième partie. Différents facteurs ont été identifiés et considérés comme principales responsables de l'évolution des versants. Beaucoup de paramètres entrent en jeu et sont responsables de la modification du fonctionnement de l'écosystème tels que les variations climatiques, les actions anthropiques, la lithologie...etc. Cette partie montre que la zone de recherche est carrément favorable aux actions de l'érosion. Les allures de versants ont été progressivement modifiées, dues aux faits incessants des activités humaines et les agents de l'érosion.

TROISIEME PARTIE

L'EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES VERSANTS ET LES IMPACTS DE L'EROSION HYDRIQUE DANS LA ZONE DE RECHERCHE.

L'analyse de l'état initial des milieux naturels et les facteurs favorisant l'érosion ont déjà été vus au travers des paragraphes précédents. Cette dernière partie présentera les résultats de la recherche, qui mettra en exergue les effets de l'érosion sur des multiples facettes. Elle a été menée dans le but d'identifier les impacts de la dite érosion ainsi que les solutions prises par les parties prenantes pour faire face à la dégradation des milieux naturels.

CHAPITRE VII . UNE EVOLUTION NETTE AU NIVEAU DES VERSANTS

VII .1 L'instabilité des versants sur les milieux dégradés.

D'après les géomorphologues « *c'est la tectonique qui crée le relief et que c'est l'érosion qui le façonne* ». Cette citation a été ainsi confirmée dans la zone en question par le fait que les versants ont été modelés directement par le biais d'érosion. D'une part, la présence de tectonique issue de l'Ankaratra a eu lieu à un soulèvement plus ou moins généralisé de la partie méridionale d'Arivonimamo ainsi que l'abaissement du niveau de base, qui provoque l'érosion linéaire sur les versants. D'autre part, le phénomène de dissection que ce soit du fait de l'enfoncement de talweg soit à partir du réseau de ravins accroît la pente moyenne du versant et se fait sentir sur l'évolution des versants¹². La présence de rupture brutale entraînée par l'écroulement des formations superficielles meubles accentue progressivement la pente du versant, qui aurait engendré de processus nouveau plus actif que les précédents : éboulement, éboulis de gravité, etc. L'ablation devient plus rapide. Les matériaux s'accumulent au pied du versant, peuvent former des cônes (en rouge orangé) et s'engorgent en évoluant.(Cf Photo n°15)

Par ailleurs, le ruissèlement devient plus intense et transporte davantage des débris lorsque la pente est plus accentuée. Il s'exerce en effet au détriment de la partie infiltrée. Ce qui provoque le mouvement des particules vers le bas de la pente. L'ablation se poursuit, entaillant de plus en plus profondément le versant et formant une grande excavation sur les

¹²(TRICART (J) et CAILLEUX, 1970).

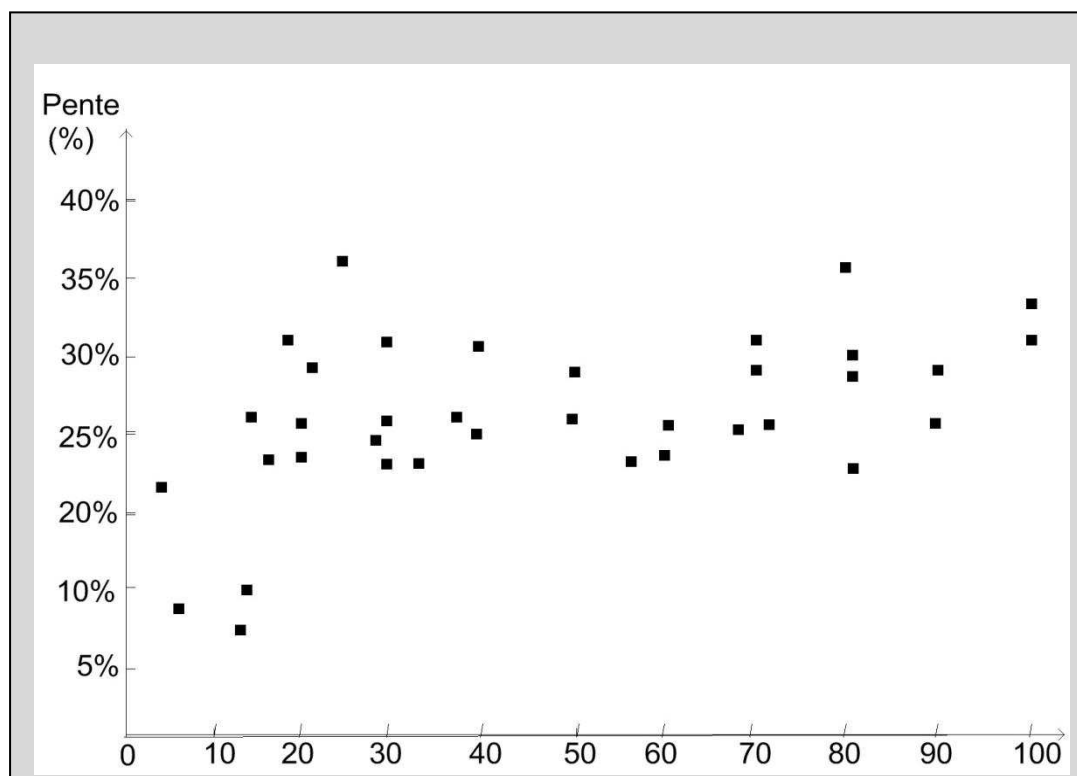
versants. A titre d'exemple, l'érosion en Lavaka et les ravines constituent principalement parmi les agents naturels d'évolution des versants (G Rouferie, 1965). Ce sont de l'érosion régressive. Les dépôts des sols et sables en bas de versant sont également un signe d'érosion effectivement riches en colluvion (matériau de remblaiement déposé en aval) en provenance du modelé dominant au sein de versant duquel il a été arraché par l'érosion.



Photo n° 15 : Eboulis de gravité à Antanetikely. La barre orange représente une hauteur de 10,5 mètres. (Source : cliché de l'auteur, septembre, 2016)

En plus, l'évolution des versants s'associe avec la faiblesse structurale des roches que constitue la région. Dans la zone d'Arivonimamo, le trait de la convexité et concavité des versants résultent de la tendreté de la roche mère. De ce fait, l'allure des versants dépend de

Figure 25 : Distribution pente – longueur de ravinement



(Source : Photographie aérienne et travaux de terrains, arrangée par l'auteur)

l'intensité du ruissèlement et du creusement du cours d'eau qui coule à leurs pieds. La convexité du sommet est très développée puisque les débris produits formés notamment au niveau des pentes sont perméables et fortement entraînés vers la partie basse du relief. D'ailleurs, la valeur de la pente constitue un facteur primordial à la formation des agents.

D'après la figure n°25, les ravines ont été localisés sur les versants plus accentués, aux environs de 25%. D'ailleurs, la présence de rupture brutale est généralement entraînée par l'écroulement des formations superficielles meubles, qui va accentuer progressivement la pente du versant et aurait vraisemblablement engendré un processus nouveau plus actif que les précédents. De ce fait, l'ablation devient plus rapide.

Par ailleurs, le sol des versants est plus évolué, c'est pourquoi l'indice de l'altération est plus élevé. La texture du sol suffisamment perméable influence sans aucun doute sur la morphopédologie. Le profil du versant est influencé par l'intensité de l'altération chimique à leur base, au contact de la nappe. Cette altération commande le modelé et le processus mécanique qui lui est subordonné ; Par conséquent, son profil n'est pas toujours définitif. Dans la partie orientale de la zone de recherche, les versants dénudés sont dus à la forte rapidité d'évacuation des matériaux plutôt qu'à celle de la formation des débris. En conséquence, le versant perd son profil d'équilibre ; la couverture du sol ne récupère pas régulièrement les produits cédés par les agents érosifs. En générale, l'altération et la pédogenèse sont fortes depuis les pentes jusqu'au sommet. Pour ce genre d'édifice, il est nettement un signe d'évolution morpho-pédologique prononcée. Par ailleurs, les versants ont un fort pouvoir sédimentogène ; Leur évolution se fait beaucoup plus aux dépens d'un épais manteau d'altérites qu'à celui de la roche mère. Les formations superficielles allochtones, quant à elles sont considérées comme des sédiments puisqu'elles sont en mouvement, déplacées par les eaux de ruissellement en donnant des éboulis. Elles contribuent ultérieurement à la pédogenèse lorsque leur transit aura cessé.

Dans la zone des savanes, là où la végétation couvre pratiquement le sol, elle freine dans une certaine mesure les processus d'ablation et de transport, voire diminue le déplacement des matériaux superficiels, malgré l'effet de la pesanteur. A titre d'exemple, dans la partie Nord-ouest (Fokontany de Manjakazaza, Fenoarivo, Amberobe), la pente est plus faible c'est pourquoi ces processus se sont ralentis.

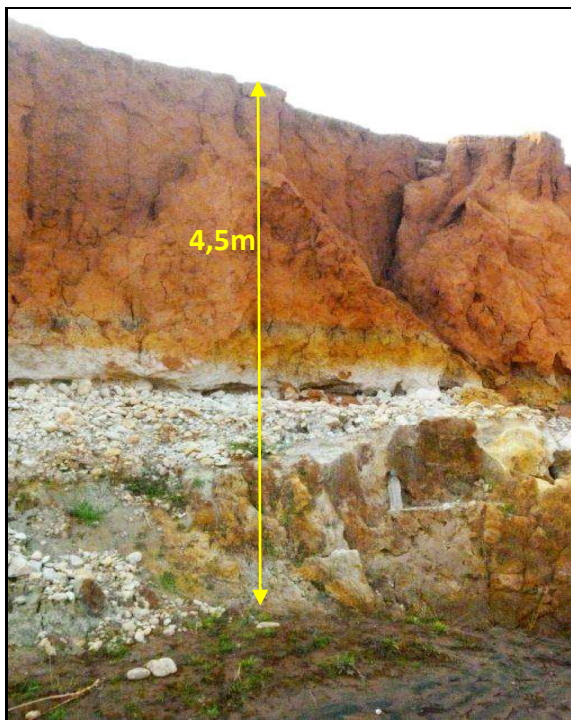


Photo n°16 : Profil naturel de l'Irihitra, qui indique la phase de l'érosion hydrique intense dans la zone rurale d'Arivonimamo. X : 18° 58'35.5'' ; Y 47°06'03.0'' ; Altitude : 1281 m (Cliché de l'auteur, septembre 2016)

En outre, l'érosion se voit également à la présence des dépôts de sable, de limon et des galets fluviaux dans les lits de cours d'eau (cf. Photo n°16). Les rivières ont repris les sédiments qui ont été exportés par les ruissellements et ont accumulé les débris dans la zone de sédimentation ou dans les vallées. Les versants du relief en amont auraient pu subir une forte érosion, ce qui s'explique l'abondance des éléments grossiers. Ces derniers sont exclusivement autochtones et allochtones, dans cette passe s'intercale les phases de sédimentation plus fine et grossière; cette sédimentation fluviale caractérise notamment la crise morphoclimatique pendant laquelle la topographie joue un rôle considérable. Les changements de granulométrie dans la stratification confirment les variations climatiques quaternaires. Les niveaux grossiers se présentent comme une des conséquences de la période displuviale au cours de laquelle de fortes pluies ont progressivement les versants. Le ruissellement apporte des éléments hétérométriques arrachés aux flancs des versants, et favorise l'évacuation des produits d'érosion. En opposition, les éléments homogènes correspondent à des périodes de sédimentation plus fine au cours de la période pluviale à savoir les limons d'inondation et les sols sablonneux le long des cours d'eau. Ils ont été recouverts ultérieurement par des colluvions.

VII .2 Les conséquences de la mise en culture des versants.

La pratique culturale modifie le type de couverture du sol ; ce qui a de répercussion sur la dynamique des versants.

La mise en culture se traduit par une évolution rapide et défavorable des propriétés physiques des sols. Les agrégats ainsi fragilisés et soumis aux fortes énergies cinétiques des pluies tropicales se délitent. L'état de surface des terres joue un rôle considérable dans le régime hydrique des sols. Pour le cas de la culture sur les pentes, tous les éléments importants constituant le sol sont presque remaniés par les eaux pluviales puisque les vingt premiers centimètres du sol présentent une structure litée faite de l'alternance de micro horizons tantôt sableux tantôt argileux. La porosité est élevée tandis que le degré de structuration ainsi que la cohésion des agrégats est cependant moyen. En conséquence, les sols sont perméables,

La prédominance de diverse pratique culturale également celle de l'ananas rend le sol sensible à l'érosion puisque ils recouvrent une moindre surface des sols, le degré de structuration est entre autre mineur avec de texture limono-sableux (Argiles 9%, limon 20%, sable 71%) ; l'ananas (*Ananas comosus*) qui signifie « parfum des parfums » appartient à la famille des broméliacées est une plante xérophYTE. Or, ces cultures ont un enracinement peu profond facile à travailler et ne forment pas une structure stable. Les horizons travaillés ont tendance à se réduire en poussière alors qu'ils sont plaqués littéralement sur l'horizon compacte sous-jacent. Ils présentent des teneurs en matières organiques faibles et possèdent une capacité de rétention d'eau faible très sensible au drainage et une capacité de stockage des éléments minéraux très faible. Par conséquent, l'érosion en nappe apparait inévitablement.

De même pour les parcelles de cultures pluviales situées sur des sols dénudé, elles ont été labourés en début de saison des pluies, déclenchent des phénomènes violents et dangereux d'érosion en nappe de particules très fines ; le colluvionnement est accéléré par l'homme au profit des basses pentes. L'usage fréquent des outils agricoles souvent archaïques tels que les charrues, les pelles, les charrettes et les bêches favorise non seulement un déséquilibre entre les structures du sol, mais aussi une dégradation progressive des versants ; Ce phénomène gêne l'enracinement des plantes et la pénétration verticale de l'eau dans les sols modifie d'une part le caractère physique, biologique, chimique des horizons superficiels des sols et d'autre part le processus d'érosion différentielle. Les horizons de surface ont été constamment transformés. D'ailleurs, l'aménagement des terrasses accentue l'allure des versants ainsi que le phénomène de ruissellement. (cf Photo n°17)



Photo n°17 : Parcelles de cultures sur le versant à Ambohijatovo

Au premier plan se situent les terrasses maraîchères sur les versants d'Antanetilava

Au deuxième plan, se forme une érosion en lavaka provoquant une rupture de pente du versant convexe ; Au troisième plan se trouve le reboisement d'eucalyptus. X : 19°00'30.8'' ; Y 47° 08'13.1'' ; Altitude : 1337 m (Source : cliché de l'auteur, Septembre 2016)

VII. 3 Les pertes en terres au niveau des versants

L'érosion est à l'origine de ces pertes en terres. D'après la figure 26, le risque d'érosion varie d'un endroit à un autre ; tous les versants sont exposés à la forte intensité d'érosion. La zone occidentale et orientale connaît une quantité considérable de perte en terre où la valeur moyenne de la pente tourne autour de 11 %. Quoiqu'il en soit, ce phénomène continue de dévaler et affecte toutes les parties du versant d'une manière inégale selon la pente et la couverture végétale. La présence de nombreux Lavaka en est un exemple concret et incite une énorme évacuation de matériaux.

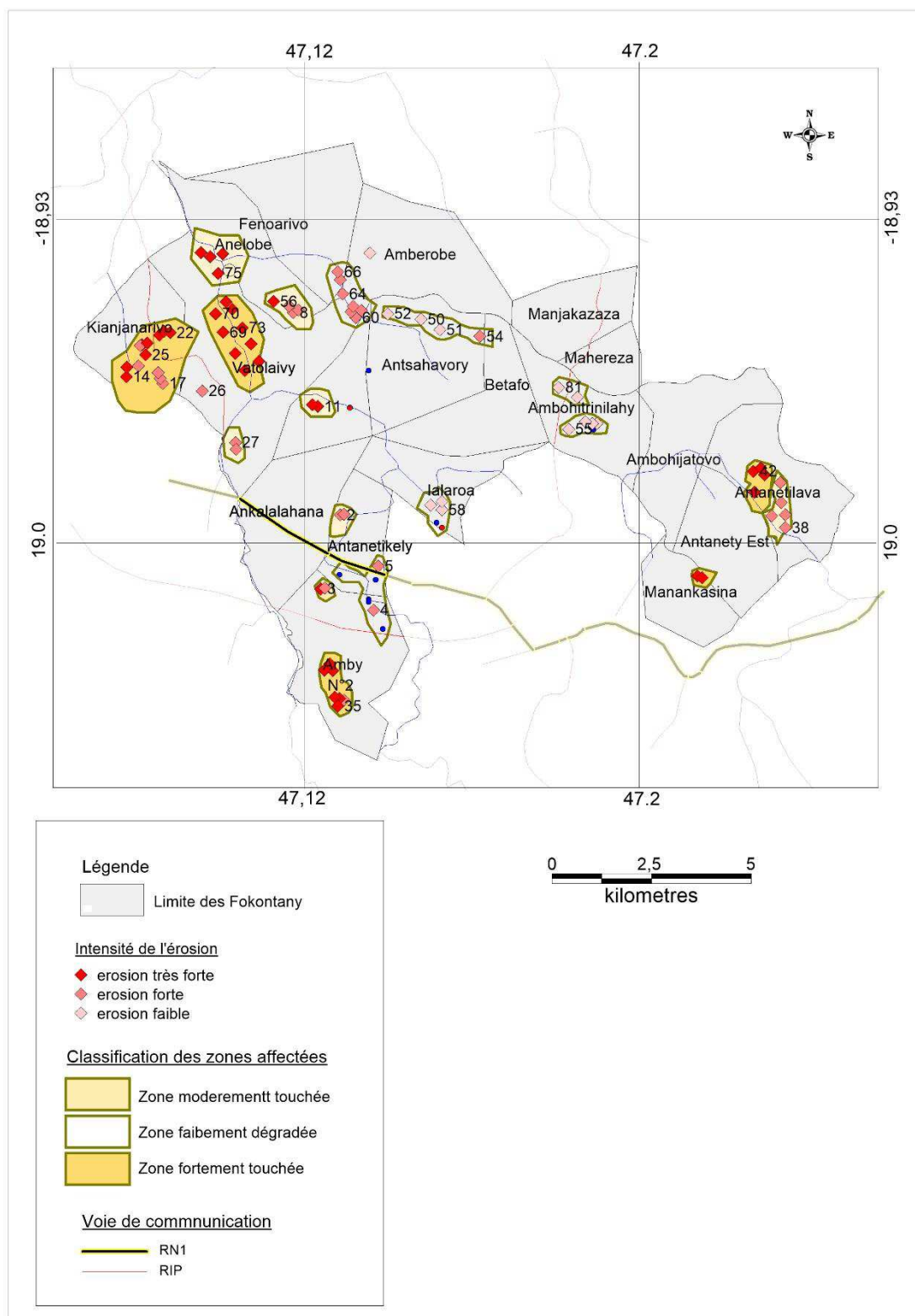


Figure n°26 : Les zones d'érosion dans la zone de recherche (Source : Photographie aérienne et travaux de terrain, avec arrangement de l'auteur)

L'importance du ruissellement sur le versant influe fortement sur les versants sableux et accélère le processus de lessivage des argiles et des éléments nutritifs sous l'effet de

l'engorgement, principalement l'azote, le potassium et le phosphore. Ils ont été lessivés par les averses intenses. Ces éléments lessivés s'accumulent non seulement dans l'horizon adjacent, une autre partie accompagne davantage l'écoulement hypodermique et exportés à l'extérieur vers l'aval. En outre, les quantités des terres évacuées se situent entre 48 et 23205 m³ dont le volume moyen est de 3500m³; Ces pertes en sols sont d'autant plus importantes en raison, s'expliquent par la forte sédimentation dans les zones basses. Malgré la prédominance de la couverture forestière, qui joue le rôle de filtre, les facteurs climatiques, les pentes contribuent également à l'accélération de l'évacuation de matériaux. Par ailleurs, le colluvionnement s'accroît au fur et à mesure que l'on passe d'une zone à couverture dense vers un milieu dégradé. L'évacuation s'intensifie lorsque les versants ont été déboisés.

Dans la partie septentrionale de la zone, l'érosion diffuse est désormais prépondérante en faveur de la forte pression des surfaces ; elle exporte surtout les matériaux meubles de la surface. A titre d'exemple, l'érosion en nappe occasionne une perte en terre de l'ordre de 1 à 2 mm/an. Si le processus se prolonge, la productivité de la terre endommagée diminue progressivement. La discontinuité de la formation herbeuse accentue l'abandon de matériaux meubles C'est la raison pour laquelle l'évacuation des produits n'est pas tout à fait délicat mais perceptibles par les changements des caractéristiques des sols.

Ces phénomènes ne sont pas arrivés au hasard, ils ont des multiples facteurs auxquelles la précédente partie a fait particulièrement allusion. Les coupes pédologiques complètent les explications du phénomène spatial de l'érosion hydrique.

VII. 4 Quelques coupes pédologiques expliquant le phénomène de l'érosion hydrique

Parmi les onze profils pédologiques observés et échantillonnés, cinq coupes ont été sélectionnées pour pouvoir expliquer le phénomène d'érosion dans la zone de recherche. Les coupes sont visibles, surtout lorsqu'elles incisent un versant de haut en bas, montre que les manteaux d'altérites sont faibles dans la partie sommitale (Cf Figure27) tandis qu'ils épaississent vers le bas de versant surtout dans la zone forestière. Leurs épaisseurs conditionnent davantage l'ameublissement des versants face à l'érosion.

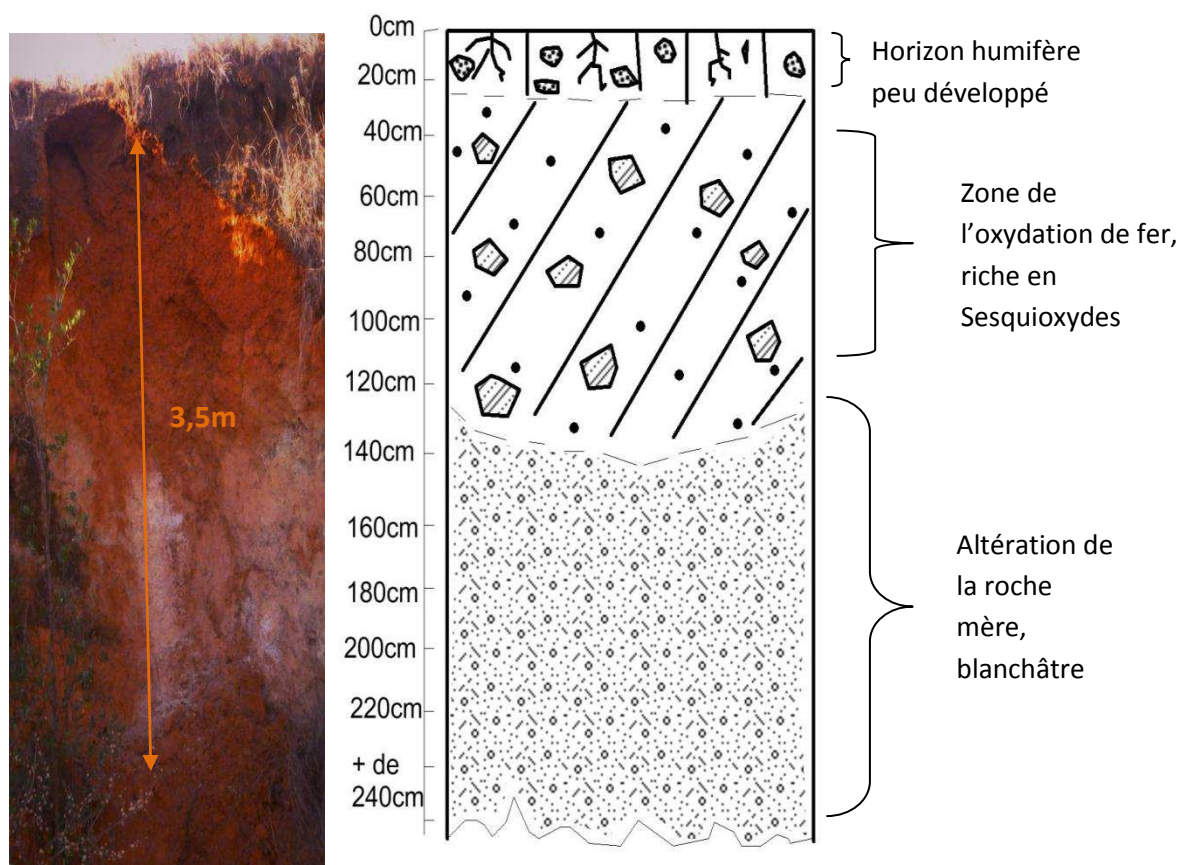


Figure 27 : Profil sous savane dégradé à Amby, (Profil n°1) X : 19° 01'58.1'' ; Y : 47°07' 44.9'' ; altitude : 1328m (Cliché de l'auteur, septembre 2016)

Selon la figure 28, il a été constaté que la teneur en argile diminue régulièrement en profondeur en même temps que le pourcentage de limon et de sable grossier augmente. En effet, le degré de structuration diminue d'une façon progressive vers le bas. Ainsi, l'horizon d'altération se situe en dessous de 1m.20 à 2m. Dans la partie centrale, caractérisée par la prédominance des formations herbeuses, la prépondérance de l'érosion diffuse s'explique par l'insuffisance de la perméabilité des sols.

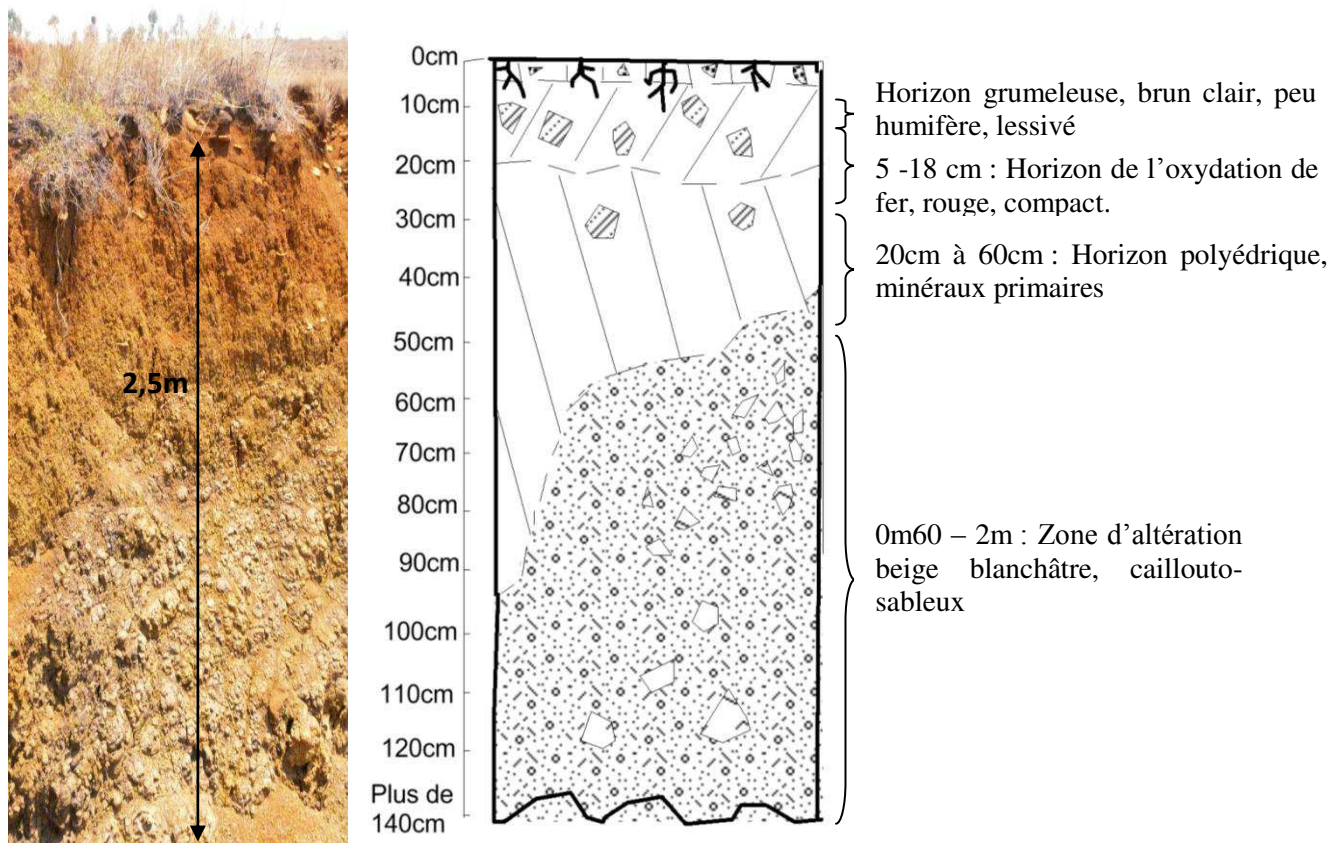


Figure 28 : Profil sous savane dégradé à Antanety Est, (Profil n°5)X 19°03'29.8 ; Y 47°08' 12.1'' ; altitude : 1339m (Cliché de l'auteur, septembre 2016)

Cette partie connaît une végétation graminéenne dégradée, cela induit à une grande pauvreté en matière organique à cause de l'érosion et la dégradation de la couverture végétale. En outre, la récurrence périodique des feux ne permet pas à l'horizon humifère de se développer. L'horizon de la surface n'est pas suffisamment favorable à l'infiltration puisque l'enracinement est peu abondant. Les racines ne pénètrent pas dans l'horizon sous-jacent. Ce qui favorise le ruissellement. En plus, la perméabilité de la terre sèche est plus élevée que celle de la terre humide, ce qui explique qu'au cours d'une même averse, l'infiltration diminue et, par conséquent, le coefficient de ruissellement augmente du début jusqu'à la fin. Pour cela que les sols sont sujets à l'érosion.

La couleur de l'horizon varie en fonction de l'action de l'humus sur les composés du fer. L'étude de l'indice R de Wischmeier concernant la zone des savanes des Hautes Terres Centrales a montré qu'elle est moyennement affectée par les actions érosives (la valeur varie de 359 à 508)

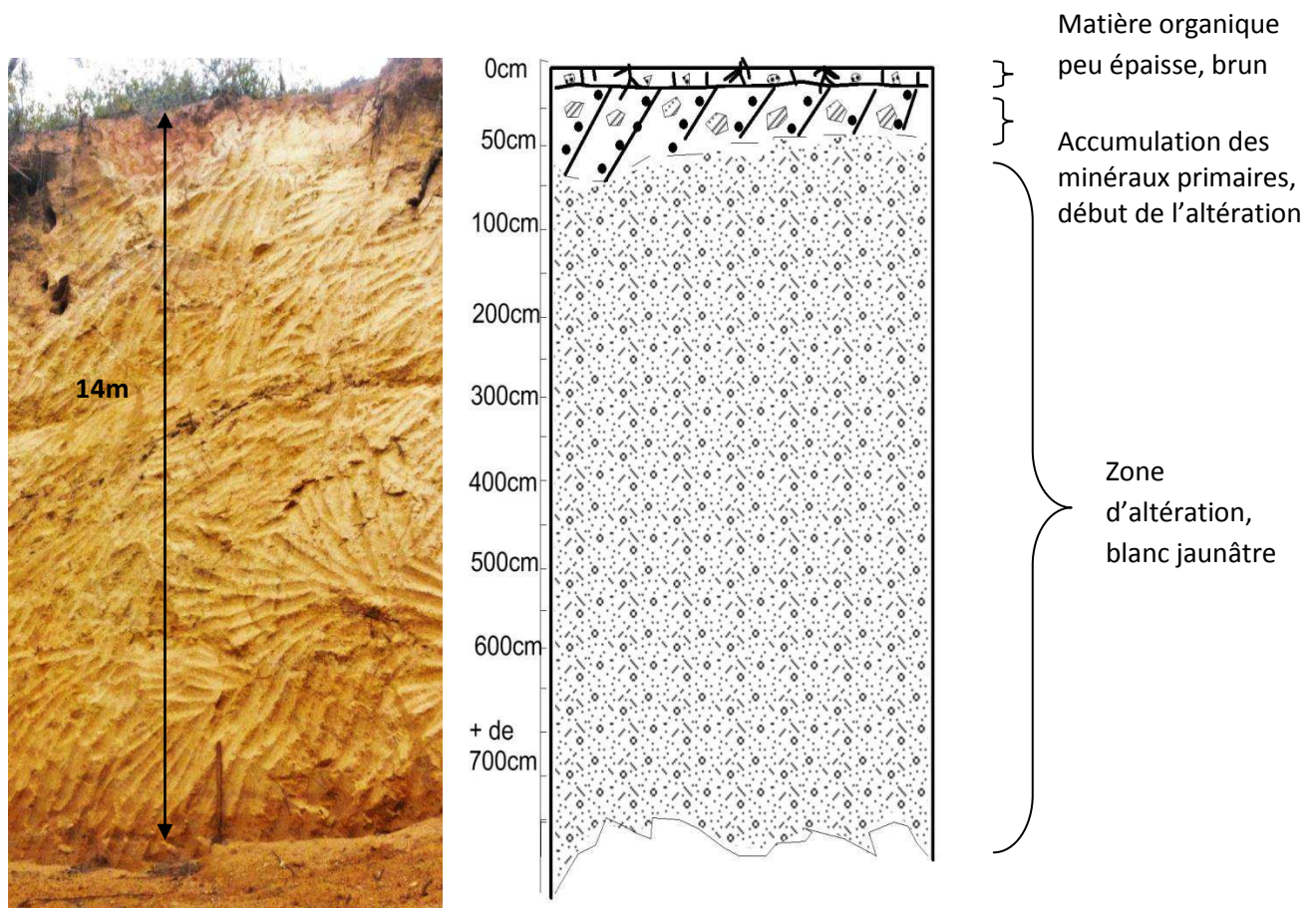
Néanmoins, le décapage du sol se poursuit durant quelques années, en même temps que le lessivage des minéraux. Au bout de la saison pluvieuse, les oxydes de fer s'agglutinent entre eux et forment des cuirasses qui sont parfaitement imperméables.

Par ailleurs, les sols sous la formation de Tapia sont fortement desaturés, à texture argilo-sableuse, la texture de l'horizon de surface est en moyenne argilo-sableuse (Argile 48%, Limon 28% et Sable 27%). Il connaît un lessivage vertical et latéral. Ce qui favorise la présence des éléments grossiers en surfaces. C'est la raison pour laquelle que les teneurs en sable grossier sont fréquemment plus élevés dans les horizons de surface et l'humification est plutôt faible. Étant donné que les sols forestiers sont toujours situés sur pente forte, une fente de retrait apparaît en saison sèche due à la dessiccation¹³. Elle se produit à la surface puisque les niveaux des nappes phréatiques s'abaissent régulièrement bien qu'ils ne soient pas généralement profonds. Du coup, cela augmente le risque d'enlèvement des sols à l'avènement de la saison pluvieuse, la saturation et le gonflement des argiles facilitent le déplacement des produits bien qu'ils ont une bonne cimentation des agrégats. Ils sont très instables. Dès que la couche superficielle est saturée, elle commence à glisser vers le bas de la pente. Entre autres, la zone d'altération est très épaisse, 5 à 15 m et plus, bariolée avec feldspaths et roches altérées, avec la texture sable limoneuse. Les eaux s'infiltreront facilement, dû à la prédominance des particules grossières, qui se détachent naturellement. La forte teneur en sable est due à la concentration en minéraux résistants à l'altération. Elle est en effet, très poreux et friable surtout à l'état humide et poudreux à l'état sec.

En plus, d'après la figure 30, les horizons A sont peu épais, malgré les apports de débris végétaux. Ces sols qui se trouvent sous couvert de la forêt de Tapia avec le peuplement de Pinus sont appauvris en matières organiques. La présence de l'accumulation de ses feuilles, absolument acides ne permettent pas l'épanouissement du sous-bois. Les feuillages sont généralement acides. L'humification est faible. Une partie des horizons supérieurs a été certainement lessivée, ce qui explique cette accumulation relative puisque le ruissellement enlève progressivement les particules fines. Le remaniement de l'horizon de surface est dû par l'action humaine (débroussaillage, feux de brousse) ; ce qui les expose aux énergies des pluies. L'accumulation des minéraux peu altérables est en effet plus ou moins prononcée. L'horizon supérieur appartient à la classe argilo-sableuse ; les fractions limoneuses et sableuses sont élevées à la base. L'accumulation qui se présente dans l'horizon sous-jacent est enrichie par suite de l'apport par les eaux. Le défrichement provoque la mobilisation la nouvelle quantité de fer et favorise son extension latérale. Les eaux des pluies vont s'infiltrer perpétuellement en faveur de la présence des matériaux grossiers. La zone profonde d'altération s'explique par une perte massive de silice, 60% ou plus, de la silice initiale de la roche mère, et de la presque totalité des bases, éliminés par lessivage latéral ou infiltration

¹³(Bourgeat, 1972,)

puisque le milieu est perméable. L'horizon inférieur est marqué par la couleur beige, la teinte générale est plus claire.



D'après la figure 29, les éléments grossiers sont très abondants, avec une majorité de graviers mais aussi quelques cailloux. La plupart des particules proviennent de la désagrégation de roches silicatées : du granite (mica et feldspath), du gneiss ou encore des schistes. Ils comprennent tous les fragments dont la taille est supérieure à 2 mm. De 0.2 à 2 cm on a des graviers, de 2 à 7.5 cm des cailloux. Le sol a une structure particulière généralisée. Il est relativement meuble, de consistance peu plastique, peu collante et relativement fragile. Les altérites s'épaississent de plusieurs mètres et peuvent atteindre de vingt mètres de profondeur. Ces éléments sont donc fortement altérés. Ce qui amène aux éboulis en bas de pente (Cf Figures 30 et 31).

La zone d'altération à la base est irrégulière où l'on rencontre des fragments de roches pourries coexistant avec de zones déjà altérées. L'analyse granulométrique révèle un taux élevé en sable grossier. La fragilité des agrégats est due à l'insuffisance de cohésion des particules entre elles (sables, graviers ou parfois sables limoneux), et indique la structure

particulière. Avec sa texture limoneuse, il ne colle pas à l'état sec et a un touché soyeux proche du talc. L'argile a été dissoute, et donne la coloration blanchâtre du profil.

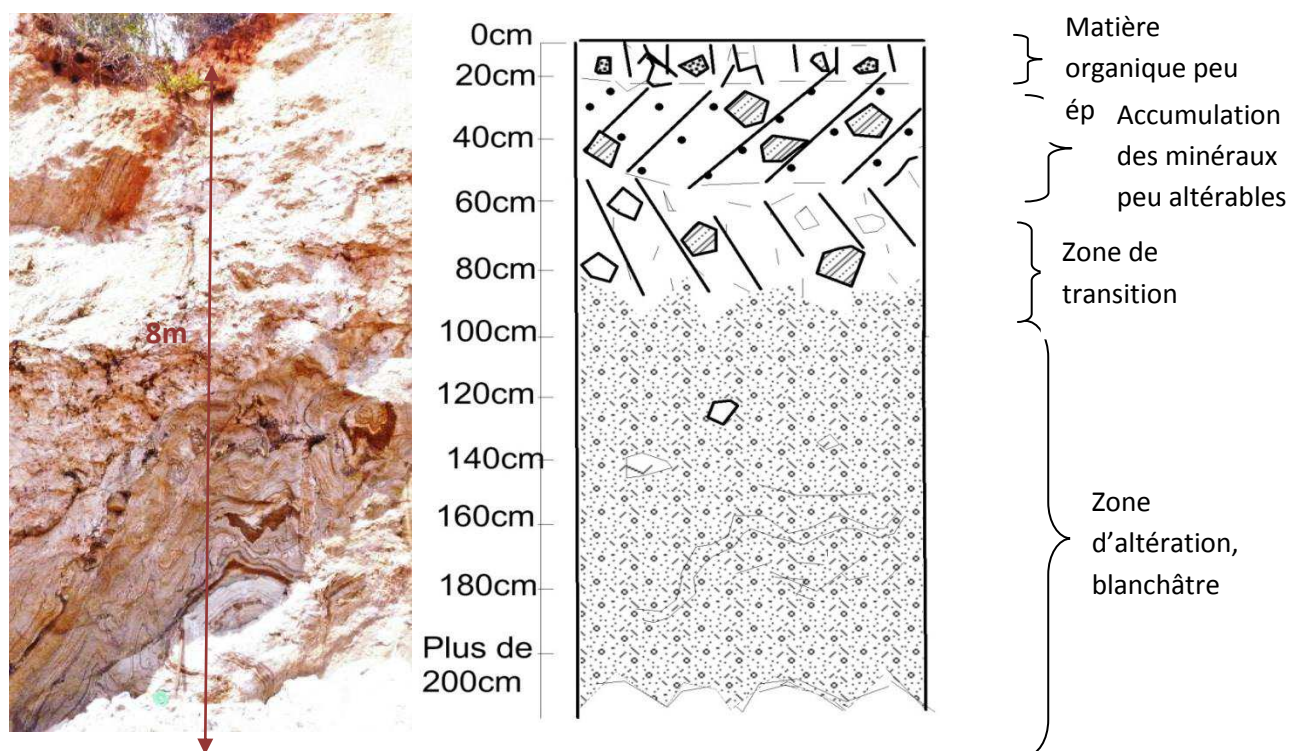


Figure 30 : Coupe naturelle à Ankalahana, (Profil n° 3) X 19° 00'42.8'' ; Y 47°07' 30.9'' ; altitude : 1280m (Source : cliché de l'auteur, septembre 2016)

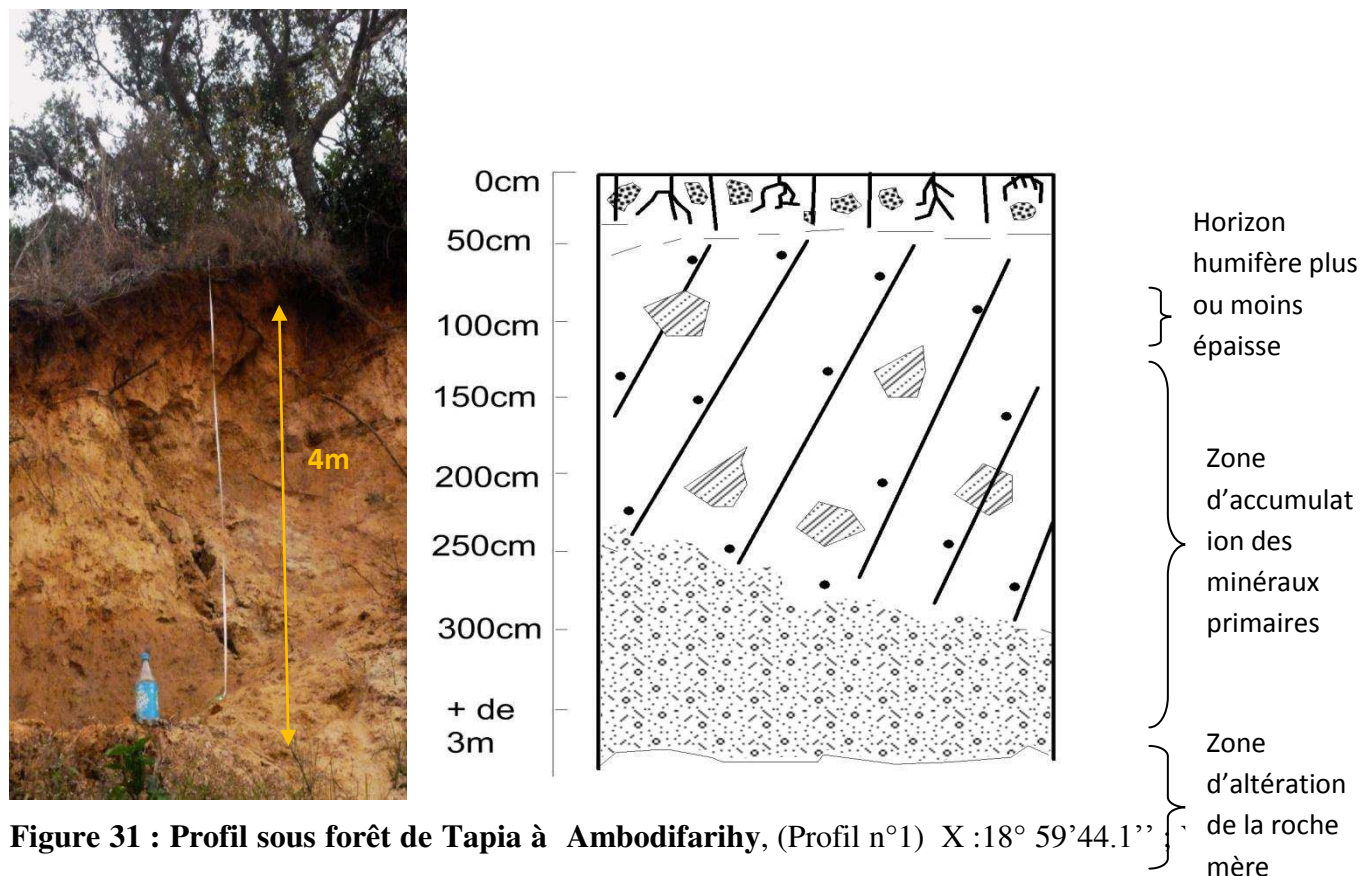


Figure 31 : Profil sous forêt de Tapia à Ambodifarihy, (Profil n°1) X :18° 59'44.1'' ; Y 47°07' 39.7'' ; altitude : 1305m (Cliché de l'auteur, septembre 2016)

En plus, l'accentuation de la pente, le teneur en sables et en limons plus élevée : la cohésion est faible, les sols sont vulnérables à l'érosion lorsqu'ils ont été défrichés. D'ailleurs, le degré de structuration est bien marqué et diminue d'une façon progressive vers les bas. La résistance d'un sol à l'érosion dépend donc de ses propriétés physiques et chimiques; tout particulièrement de sa structure et de sa perméabilité.

CHAPITRE VIII. LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

L'érosion des sols et ses conséquences représentent une des principales menaces sur le sol lui-même et constitue un des enjeux environnementaux majeurs.

VIII. 1 Le déséquilibre du milieu écologique

L'environnement n'est jamais au repos, il se présente un déphasage entre les facteurs extérieurs et la situation climatique actuelle. Une véritable relation de cause à effet existe entre l'environnement et le sol. Si l'un de ces facteurs change, le sol évolue lui aussi. Le degré d'évolution conduisant à une différenciation plus en plus marquée, déterminée par l'ensemble des facteurs du milieu. D'une façon générale, l'érosion hydrique caractérisée par son emblème destructive a des impacts sur l'environnement (Cf Tableau n°10). Sa dégradation est due au défrichement de la forêt à titre d'exemple, le versant serait de plus en plus dénudé. L'impact sur les paysages est fonction de la nature des sols, des occupations et des techniques culturales utilisées.

En tout état de cause, le déséquilibre de l'écosystème a été constaté comme l'extinction des certaines espèces ligneux, la manque des matières premières, notamment les cocons de *Borocera cajani*, la disparition des faunes spécifiques de la forêt de Tapia et propagation des oiseaux prédateurs comme les Maritaina (*Acridotheres tristis*)

Tableau n°7. Les impacts de l'action anthropique sur l'environnement

Menaces sur les milieux naturels	Conséquences
<p><u>Pression démographique élevée</u> besoins accrus en ressources naturelles -Feux de brousse fréquents -Coupe de bois excessive -Fabrication de charbon de bois -Conversion de la forêt en champ de culture <u>Introduction des espèces exotiques</u> -Reboisement d'autres espèces (l'eucalyptus, pinus, etc)</p>	<p><u>Sur le plan écologique</u> -Régression de la superficie forestière -Envahissement des espèces introduites sur les espèces endémiques -Réduction du taux de régénération naturelle Fragmentation et dégradation de la forêt -Capacité réduite de la forêt de <i>tapia</i> de produire des biens et services -Diminution de l'abondance de la potentialité des ressources naturelles -Formation des Lavaka, des ravinements dans la région -Ensablement <u>Sur le plan humain</u> -Moyens de subsistance limités (ex : terre, etc.) -Revenus bas tirés des produits forestiers -Pauvreté plus poussée de la population locale</p>

(Source : auteur, d'après les enquêtes auprès des paysans et observations sur terrain, Septembre, 2016)

Outre la perte du capital sol et les dégâts causés sur les terres agricoles, les dommages entraînent les pollutions des eaux, inondations des zones basses sous la forme de coulées boueuses

VIII.2.Risques d'inondation et ensablement des zones basses

L'incompréhension de l'aménagement sur les versants influe sur le débit et la qualité de l'eau des rivières. A titre d'exemple, le débit de l'Irihitra fluctue entre 400 à 450m³/s pendant la saison pluvieuse. Elle s'est chargée de toutes sortes des dépôts générés par l'érosion. Ces derniers réduisent la capacité des rivières et contribuant aux débordements et inondations des plaines alluviales. . Elles y jouent le rôle de trop plein. D'après les figures 32 et 33, tous les produits en amont ont été transportés vers l'aval. Les profils de l'Irihitra et de la Mariarano montrent une pente assez forte sur les 10 premiers kilomètres de leur cours. Leur confluence avec l'Onibe connaît de submersion violente lors des périodes pluvieuses, et favorise la forte sédimentation voire l'ensablement.

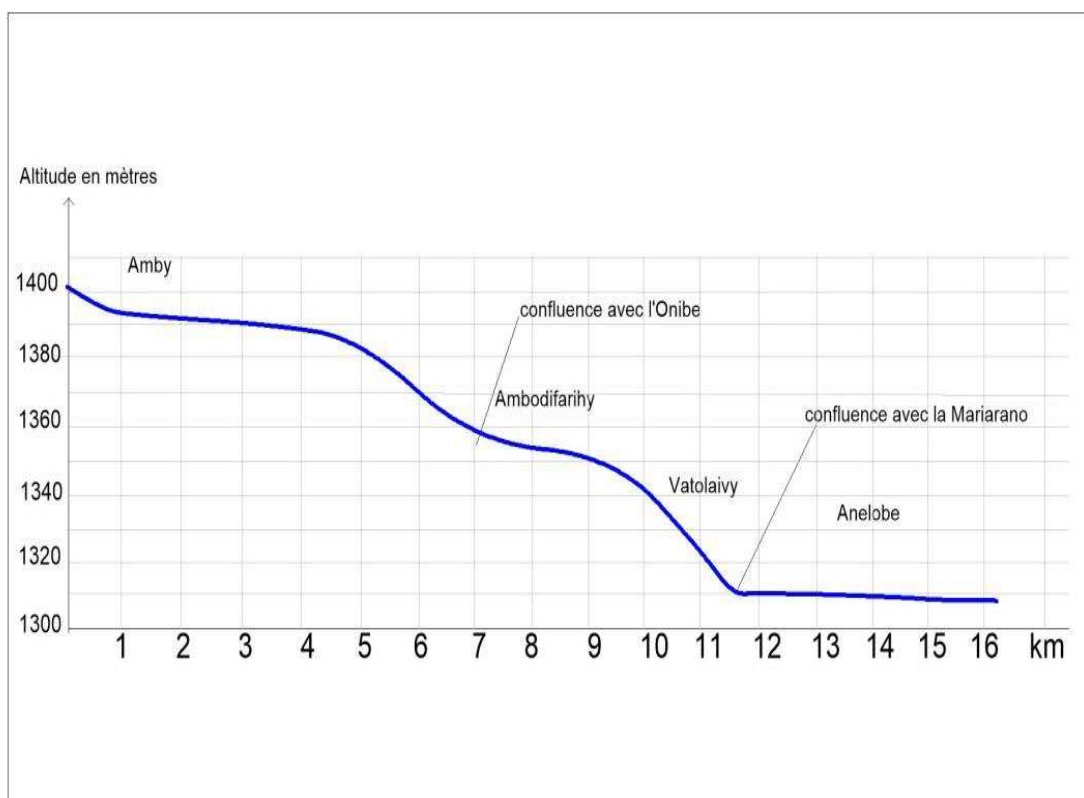


Figure 32 : Profil longitudinale de l'Irihitra (source : Carte topographique feuille 046 Arivonimamo, conception de l'auteur)

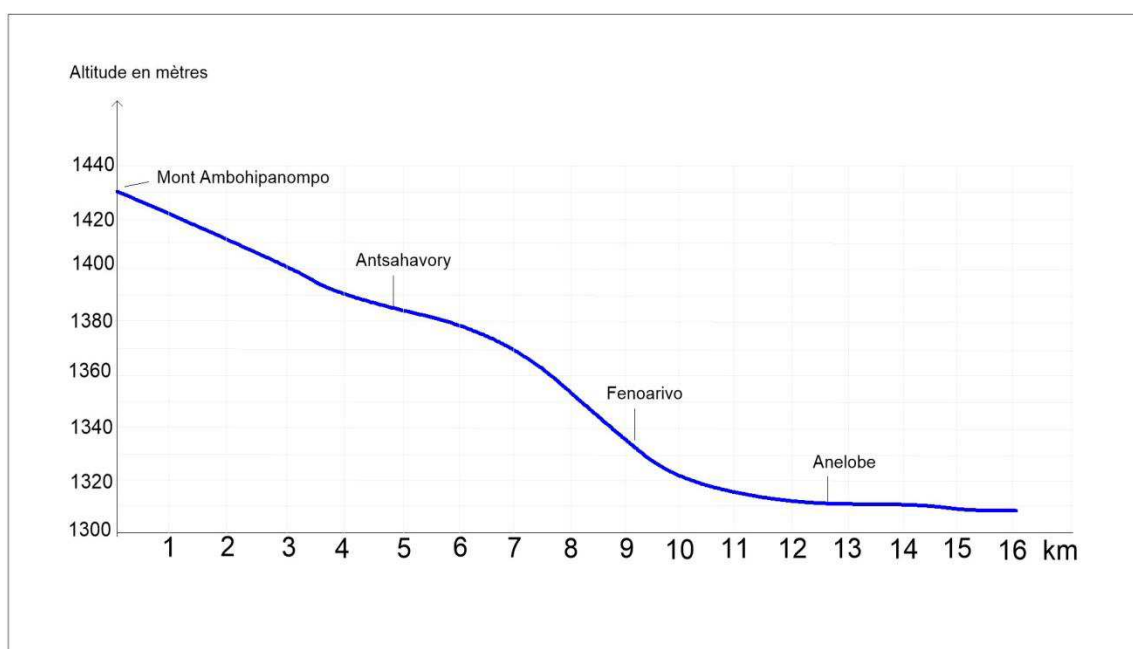


Figure 33 : Profil longitudinale de Mariarano (source : conception de l'auteur)

Effectivement, les petits ouvrages hydrauliques tels que les canaux, les fossés de drainage même le barrage s'obstruent constamment des sédiments à chaque saison pluvieuse.

D'après les enquêtes, les désensableurs ont pu constater la forte sédimentation des rivières de ces 10 dernières années. Ils ont pu enlever plus de 500 « daba » soit 10m^3 par jour ; ce qui est équivalent à une capacité de deux camions. Ces accumulations ont des aspects négatifs du point de vue de la production agricole puisqu'elles enchevêtrent le développement des systèmes racinaires. Elles accroissent les difficultés du drainage des zones basses adjacentes tout en relevant le niveau de la nappe phréatique. C'est l'érosion fait apparaître la couleur rouge de la rivière, elle devient boueuse. Le cours d'eau charrie du sol récemment érodé. Ce phénomène est la conséquence d'une mauvaise utilisation du milieu et du déboisement excessif sur le versant. (Cf. figure n°3)

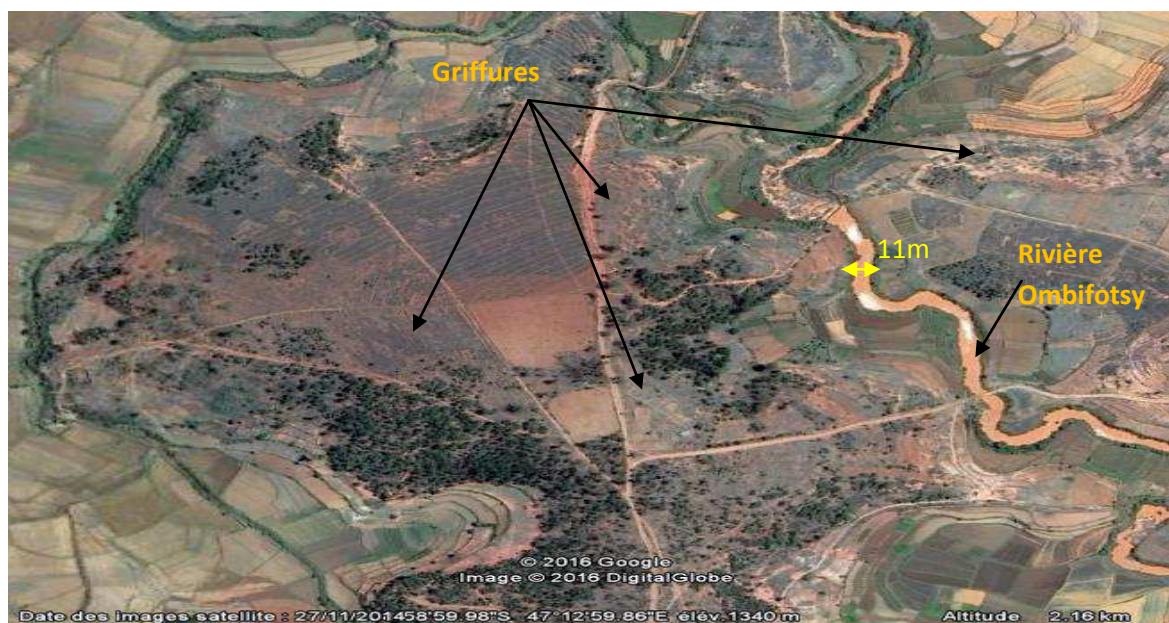


Figure 34 : Vue aérienne de la dégradation des versants . (Source : Google Earth 2016)



Photo 18 : Ensablement des rizières et des parcelles de cultures dans les zones basses :
X : $18^{\circ}58'10.0''$; Y : $47^{\circ}07'51.1''$; altitude : 1265m (cliché de l'auteur, septembre 2016.

En effet, les terrains rizicoles qui se présentent dans les zones à risques d'inondations sont estimés à environ 1830ha, toutes activités ont été perturbées par la montée des eaux, et environs 700 ha des rizières aquatiques sont concernés par le phénomène d'ensablement. (Cf photo 18). Les bas-fonds dans la partie Occidentale sont en effet parmi les plus touchés, restent incultivables à cause des ensablements.(Cf Figure 35)

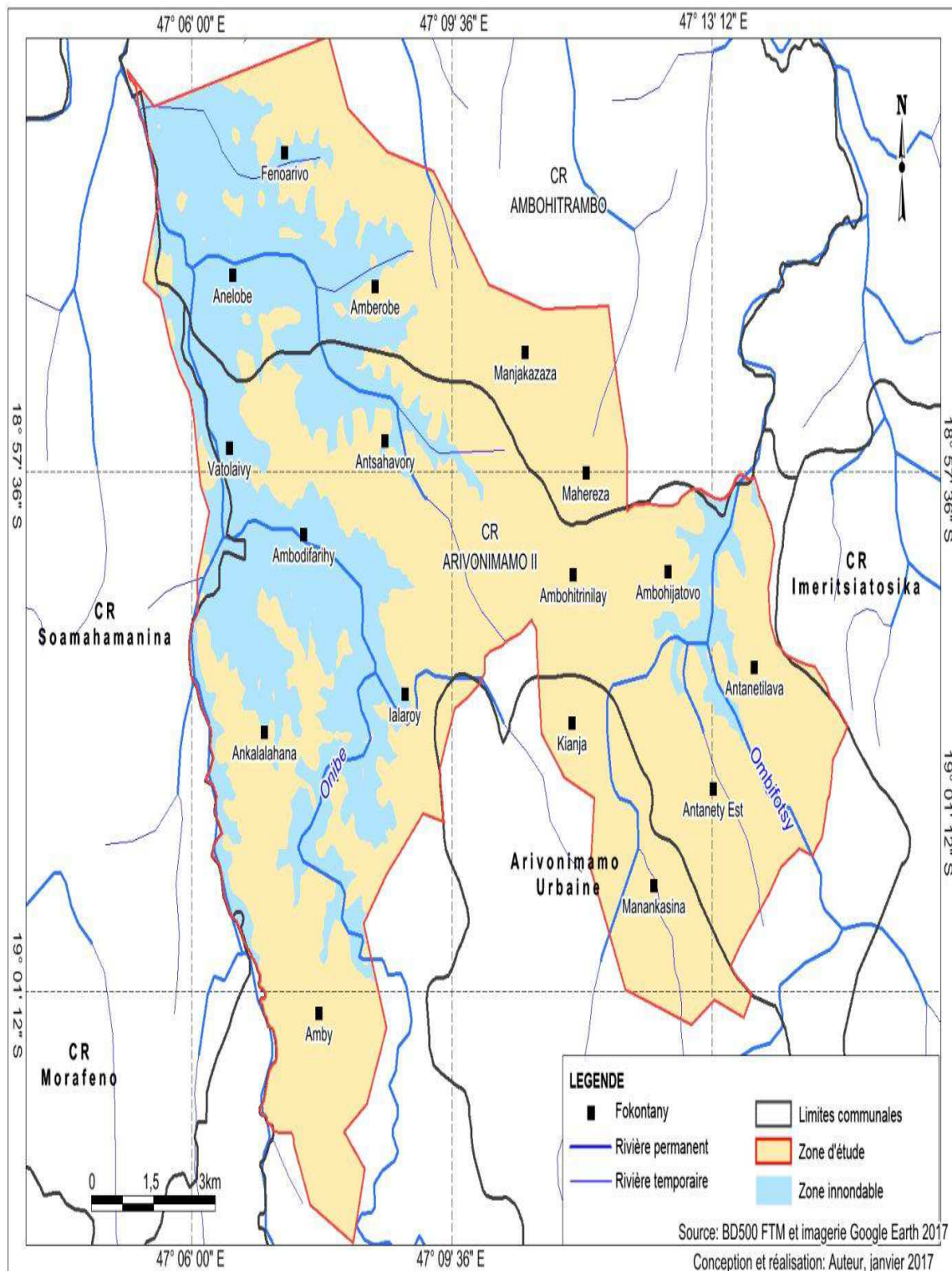
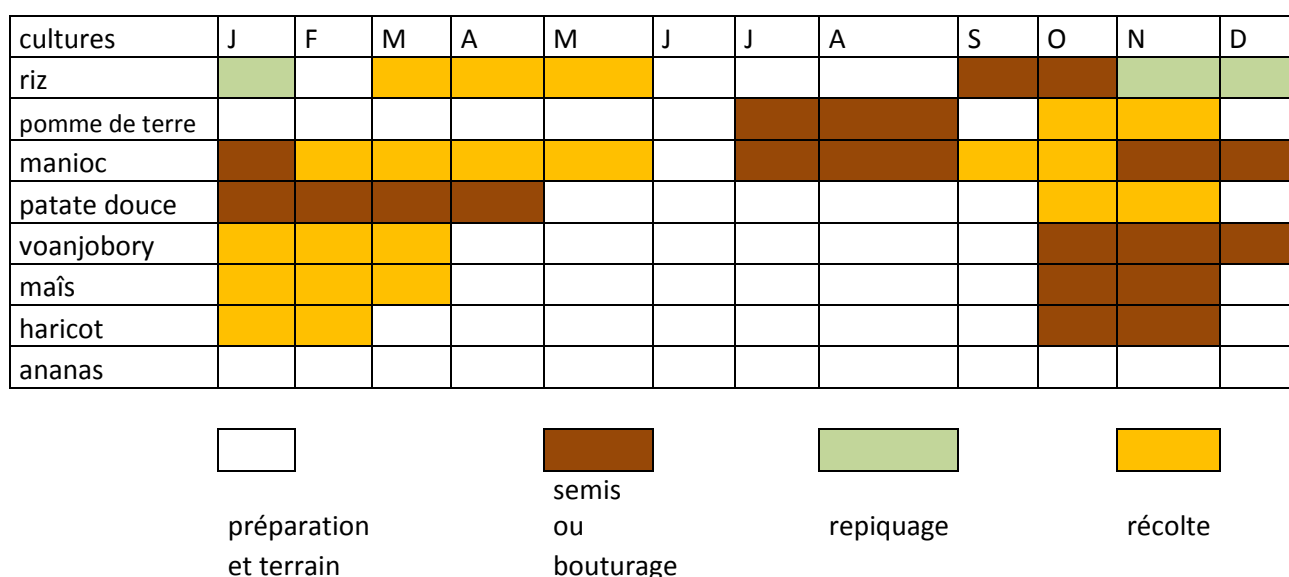


Figure 35 : Les zones à risque d'inondation et d'ensablement de la zone d'Arivonimamo
(Source : Google earth 2014, arrangée par l'auteur)

D'ailleurs, certains produits chimiques comprenant le DDT, l'insecticide, le raticide utilisés sur les cultures en amonts ont été décelés dans les rivières ; ceux qui favorisent particulièrement les pollutions des eaux des rivières, voire même l'eutrophisation de celles-ci. Ce qui contamine les êtres vivants aquatiques, et est extrêmement toxiques pour la végétation elle-même.

Par ailleurs, certain calendrier agricole a été retardé faute du dégât des ensablements et également de la variation de la pluviométrie au cours de la saison pluvieuse ; le changement climatique contribue entre autres à la fluctuation de la production. Or, le changement du calendrier cultural a des répercussions sur les rendements (cf. Figure 36). Pour le cas des zones de marais, partiellement aménagée en rizières, les crues de la rivière rendent les rendements aléatoires.

Figure 36: Le calendrier cultural



(Source : enquête auprès des paysans)

La préparation des parcelles se fait au mois de juillet, août, septembre ; la culture se fait au début de la saison pluvieuse (octobre, novembre, décembre). Quelque fois, le problème d'insuffisance d'eau affecte les cultures. La variation de sa quantité annuelle perturbe le calendrier cultural. D'après certains paysans, seulement la culture du riz et celle des pommes de terre suivent régulièrement le calendrier normal. L'érosion hydrique est perçue comme source de défaillance de potentiel physique, économique et social dans cette zone rurale. Les conséquences sont dramatiques en termes environnementaux et socio-économiques. L'homme essaie de s'adapter aux conditions de la morpho-pédogenèse dans la zone. En conséquence, le problème de la protection de la nature, des sites, de la flore et a été une préoccupation permanente des autorités successives. Ceci s'explique par la position même des problèmes

d'environnement dont les plus visibles sont la dégradation des sols par le biais du phénomène d'érosion, la déforestation et une certaine dégradation de la qualité de l'eau. En tenant compte de ces résultats, quelques techniques et divers moyens ont été adaptés selon l'état du milieu tout en restant à la portée des paysans.

CHAPITRE IX. LES SOLUTIONS PRISES PAR LES PAYSANS POUR LA SAUVEGARDE DU MILIEU NATUREL.

Dans ce paragraphe, les actions qui ont été mises en œuvre par les associations paysannes et les organismes rattachés vont être mises en exergue. Cela consiste à mettre sur les plateaux les mesures d'atténuation appropriées les effets négatifs de la dégradation des ressources naturelles afin de minimiser au maximum les dégâts sur les milieux naturels.

IX.1 la sécurisation des écosystèmes naturels

La protection de la forêt devient un prioritaire dans cette zone de recherche afin de conserver leur potentialité. Cela se traduit par le transfert de gestion au profit de la population locale.

IX.1.1. Transfert de gestion de la forêt de Tapia à la communauté de Base.

Les milieux naturels se dégradent continuellement et nécessitent d'être protégés. Pour pouvoir conserver la forêt, des VOI ont été créés au sein de chaque Fokontany. Cette communauté de base ou VOI est dotée d'une personnalité morale et fonctionne comme une ONG selon les réglementations en vigueur¹⁴. La Région Itasy collabore avec divers Organismes dans le cadre de la mise en œuvre de son programme Environnement et Développement, pour le mettre en pratique d'une manière efficace. De même, quelques projets environnementaux et agricoles ont été également lancés depuis une dizaine d'années pour pouvoir développer la zone rurale. Les associations paysannes VOI sont parmi les acteurs et bénéficiaires du projet. D'ailleurs, ils collaborent avec les institutions publics et privées prometteurs telles que l'Agrisud, la Planète Urgence, le Fid, PROSPERER, etc. La mise en place du projet est motivée par les divers avantages socio-économiques qu'il apportera à savoir la construction des pistes de petits ouvrages hydroagricoles (Cf Photo 19)

¹⁴ (Source : Loi n° 96-025 du 30 septembre 1996 relative à la gestion locale des ressources naturelles renouvelables).



Photo 19 : Barrage hydroagricole à Antanetilava (cliché de l’auteur, septembre 2016)

De plus, certaines activités de recherche ont été menées depuis quelques années : des activités de préservation de la forêt, de « Landibe », redynamisation de l’association paysanne, des appuis aux communautés locales d’Arivonimamo pour la gestion de la forêt sclérophylle de Tapia. Ce mouvement a des impacts importants sur le mode de vie de la population dans les Fokontany concernés puisqu’il y a une réduction du coût d’achat de la biomasse énergie, une valorisation de certaines essences de bois, une bonne gestion de l’eau ayant pour but d’atténuer les érosions des sols ainsi que l’ensablement des bas-fonds. En 2015, 7 VOI parmi les 19 ont été sélectionnés via un concours de mini-projet et ils seront accompagnés durant 2 ans. Ces actions ont permis aux habitants de s’engager un peu plus à la protection de l’environnement.

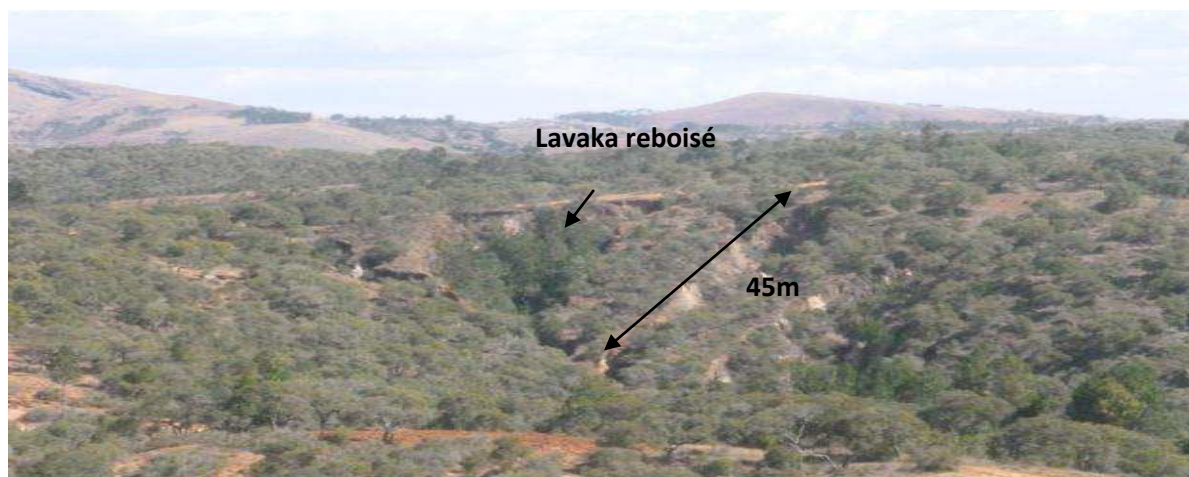
Une activité considérée comme primordiale a été le reboisement, une obligation pour faire face aux besoins continuels de la population en bois et une compensation de la dégradation de la forêt de Tapia.

IX.1.2 Le reboisement

A l’heure actuelle, les villageois sont conscients du fait que la ressource en eau se pérît de plus en plus et difficile à exploiter. Ce phénomène est dû à l’assèchement des nappes sous-jacentes et conduit inéluctablement à la dégradation des versants. Le domaine de reboisement consiste viser autant que possible les zones dénudées. Ces espèces servent à protéger les versants afin de minimiser les effets néfastes de l’érosion. La plantation des

espèces procurent ainsi du bois de chauffe et de construction. L'embroussaillage des versants, des Lavaka actifs est une prioritaire une technique de lutte contre l'érosion et très efficace pour le taux de réduction des pertes en terres.

Photo 20 : Lavaka en phase de biostasie dans le Fokontany d'Antanetikely



(Cliché de l'auteur, septembre, 2016)

Il s'agit d'environ 2000 personnes qui ont bénéficié du renforcement de capacités, impliquées dans ces actions de reboisement. Avec un taux de survie de 90%, le tableau n° atteste la réalisation du résultat dont 73500 plants essences ont pu couvrir une superficie de 51,7ha soit de terrain dénudé ou dégradé en 2015 tandis qu'en 2016, 900 ha ont été reboisé soit 7,5 % de la superficie totale de la zone rurale. Ces essences sont Des pépinières de proximité ont été créées également afin de remédier aux problèmes de destruction éventuelle des jeunes plants. Néanmoins, les objectifs ne sont pas atteints normalement avec un taux de 76,8925 % , beaucoup des domaines sont encore délaissés.

Tableau 8 : Degré de réalisation du résultat de reboisement

Indicateurs	Objectif	Réalisations	Degré de réalisation
Nombre de plants de tapia mis en terre	19500	14350	73,58%
Surface de forêt de Tapia restaurée	15	14	93,33%
Nombre de plants d'autres essences mis en terre	73500	76432	103, 98%
Surface de sol dénudé recouvert en autres essences (ha)	40	37.7	94,25%
Nombres de pépinières villageoises créées	10	10	100%
Taux de survie	100%	90%	90%
Zones envahies par les espèces exotiques dans les forêts de tapia localisées			60%
Un plan de lutte contre l'invasion des espèces exotiques établi et mis en œuvre	1	0	0%
Moyenne			76,8925 %

(Source : Rapport des activités de la Planète Urgence,2015)

De ce paragraphe, quelques lacunes ont été remarquées dans le domaine de reboisement du fait de l'absence cohérente entre les relations des parties prenantes. En outre, la pratique des techniques contre le ruissèlement a été effectuée aux parcelles des cultures

IX.1.3.L'application de la courbe de niveau et la conservation du sol

La mise en œuvre de la courbe de niveau a permis de protéger les parcelles de cultures vis – à vis de l'intensité des eaux de ruissellement. Cette technique devient plus courante dans la culture d'ananas en faisant de labour attelé suivant la courbe de niveau ; elle caractérise la plus grande partie du paysage de la partie septentrionale comme le Fokontany de Manjakazaza, Mahereza, Antsahavory, Fenoarivo etc. Néanmoins, les terrains de cultures ne sont pas défendus aux actions de splash surtout à l'érosion en nappe. Les paysans améliorent ainsi la productivité de son travail (Cf Photo 21). Ils commencent à combiner ce moyen avec l'utilisation d'autres techniques de protection de la surface du sol. Quelques

modes de gestion de la fertilité des sols ont été faits sous culture d'ananas, illustrés par le tableau n°12. Les agriculteurs préfèrent utiliser le mélange de fumier et de Paille ; ce qui fertilise d'autant plus les sols et améliore la production. Ils ont recouru à la collection des pailles, des feuillages pour pouvoir dissimuler les surfaces. Ces résidus des plantes se détériorent progressivement suivant le temps. En outre, cette technique est destinée à la vulgarisation et l'enfouissement des résidus de récolte non valorisée. De ce fait, cette manière stabilise la structure des sols ; elle est adoptée ensemble avec les fumiers de composts (Cf Photo 22) sur les terrains de cultures tout en améliorant la qualité du sol et réduisent l'utilisation des engrais chimiques. La conservation du sol a pour intérêt non seulement sur le plan économique mais aussi agronomique. de valoriser les sols de tanety. Par ailleurs, le fait de combiner des méthodes de gestion appliquée sur l'ananas comme le buttage, mulching, billonnage, une technique nouvelle a amélioré la production.



Photo 21 : La pratique de la courbe de niveau suivie par l'utilisation des pailles comme protectrice et fertilisante du sol. X : 18°56'57.5'' Y :47°07'08.4'' ; altitude 1354m (cliché de l'auteur, septembre , 2016)

Tableau n°9 : Nature des apports par type d'exploitation

	Fumier	Paille	Combiné	Sans fumure
Petits producteurs à conduite extensive	45%	10%	45%	0%
Petits producteurs à conduite intensive	38%	8%	38%	16%
Gros producteurs	27%	27%	46%	0%

(source : enquêtes personnelles , septembre 2016)



Photo 22 : La fermentation des composts (Cliché de l'auteur, septembre, 2016)

L'amélioration des conditions de fermentation permet d'augmenter la quantité produite et les apports de matières organiques puisque la baisse de fertilité ne pouvant être surmontée que par plus d'engrais. En effet, la construction d'une toiture des composts accélère la vitesse de fermentation dont les matériaux nécessaires à cette toiture peuvent être trouvés localement (chaumes et bois ronds) et la construction ne nécessite pas une connaissance technique spéciale.

IX.1.4 Les innovations agricoles

En outre, la valorisation des sols permet de définir les options prises par l'ONG Agrisud et Lecofruit pour gérer la potentialité du sol et l'intensification de la culture. Par ailleurs, certaines espèces locales de plantes ont été utilisées et valorisées pour la gestion de la productivité des sols et la lutte antiérosive. Par ailleurs, l'arboriculture qui a été associée avec la culture maintient la fixation des minéraux du sol. Les cultures arbustives ont l'avantage d'apporter des éléments fertilisants et de bien protéger le sol à savoir le Caféier, le bananier, l'oranger, etc. De ce fait, le système agroforesterie contribue à la stabilisation sol en tant que support physique. D'ailleurs, les alternances de cultures permettent des alternances de types d'enracinements. Le tableau n°13 résume les domaines intéressés et les résultats de toutes les fonctions entreprises. Ils se répartissent sur quatre domaines bien distincts dont les apports ne sont pas négligeables.

Tableau n°10 : Identification des Impacts positifs sur les domaines concernés

Milieus concernés	Impacts
Milieu humain	-Avantages socio-économiques -valorisation des ressources nationales -évolution démographique
Milieu économique	-Evolution du marché local en matériaux de construction -Amélioration des infrastructures existantes et aménagement de l'infrastructure routière et de barrage hydro agricoles
Végétation	-Diminution de feux de bois lors de la méthode traditionnelle -Stabilisation de couverture forestière
Milieu écologique	-Maintien de l'équilibre naturel de l'eau et éviter le tarissement des sources -Réhabilitation du paysage ravagé par l'érosion -Aérage des sols dénudés -plantation d'une végétation pérenne -Implantation de culture agroécologique

(Source :enquêtes
personnelles,Septembre
2016)

L'entretien du sol joue un rôle considérable dans la résistance des sols à l'érosion et dans l'infiltration des eaux pluviales. De ce fait, la mise en pratique de courbe de niveau a été jusqu'ici parmi les méthodes efficaces pour y faire face. En plus, la conservation du sol demeure secondairement. Certes, le nouveau système contribuant à la stabilisation du sol en tant que support physique est faiblement valorisé.

IX.1.5 Les problèmes rencontrés pour le développement de la zone rurale d'Arivonimamo

Beaucoup des objectifs importants ont été visés à réaliser dans la zone de recherche alors que certains d'entre-eux n'ont pas été atteints convenablement faute des divers facteurs. Il a été constaté que seulement 46 d'entre les paysans ont réellement pu mettre en pratique les formations tandis que certains paysans ont tout de suite vendu les intrants et les outils distribués sur le marché local. Certains d'entre eux sont méfiants vis-à-vis des nouveautés et des éventuelles méthodes qu'ils n'ont pas encore expérimentées. En outre, malgré la mise en place des transferts de gestion et les activités qui ont été entreprises, une dégradation continue de la forêt de *tapia* est encore constatée ; le reboisement de cette espèce autochtone dans des conditions climatiques et pédologiques est encore difficile. Cette situation s'explique entre autres par la conversion des sols de pentes en terrains de cultures pluviales. De plus, ils sont conscients que les zones hautes sont en effet le siège de plusieurs activités indispensables telles que le pâturage, de litière pour le fumier et foresterie. Compte tenu de la statistique, les habitants s'investissent moins pour la protection des versants et l'accroissement de la fertilité. Entre autres, le non-respect de la stratégie en vue d'une localisation des zones envahies et la mise en œuvre d'un plan de lutte contre l'invasion des espèces introduites contribuent à la déstabilisation de l'écosystème. Cela s'explique par l'insuffisance d'encadrement et des relations sérieuses entre les acteurs. La performance des organes susmentionnés n'est pas tout à fait satisfaisante pour différentes raisons. Pour cela, le (Cf Tableau n°14) résume les difficultés rencontrées dans la zone ainsi que les perspectives dans l'avenir de la zone de recherche

Tableau n°11 : Les problèmes rencontrés dans la zone de recherche et les points de vue dans l'avenir.

Problèmes soulevés par les paysans	PERSPECTIVES
<ul style="list-style-type: none"> - L'arbre accacia est envahissant - Les arbres reboisés ne produisent pas de Nourriture - Terrains caillouteux mal appropriés - Les effets des arbres ne sont pas connus de tous les paysans - L'intérêt est connu mais nécessite un investissement important - Manque de conscience politique - Insuffisance de plan valable et applicable pour prendre soin de la terre - Les lois ne sont pas toujours appliquées (insuffisance de communication entre les parties prenantes) - Manque de liquidités ou des crédits - Insuffisance des agents de vulgarisation, - Niveaux de revenus très faibles proches des niveaux de subsistances. - Insuffisance des précautions pour faire face aux chutes de blocs et au glissement de terrain 	<ul style="list-style-type: none"> - Modification des institutions pour faire place à une agriculture plus productive - Création des organisations d'agriculteurs - Renforcement d'aide financière - Sacrifice d'une partie de revenus des paysans à la lutte contre l'érosion - Amplification de l'encadrement tant en quantité qu'en qualité - besoin de l'élaboration d'un outil spatial permettant de localiser les zones à risques - mettre en équilibre les relations entre les institutions - Préparer des scénarios de mise en valeur pour chaque unité pédomorphologique.

(Source : enquête personnelle, Septembre 2016)

Le degré de stabilité d'un milieu peut être évalué par le bilan entre les processus qui tendent à épaissir les sols et ceux qui concourent à leur amincissement, entre la pédogenèse et la morphogenèse. Dans la zone rurale d'Arivonimamo, beaucoup des efforts ont été entrepris, En ce qui concerne la gestion des ressources naturelles, plusieurs objectifs également ne sont pas atteints alors que certains d'entre-eux ont connu de succès. Pour cela, des gros travaux seront encore à réaliser face à la dégradation incessante des milieux naturels.

CONCLUSION GENERALE

L'étude au sein de la zone rurale d'Arivonimamo a permis de comprendre les processus d'érosion et morphogéniques du paysage. Le relief de la zone rurale d'Arivonimamo fait partie du paysage typique des Hautes Terres centrales par ses conditions humaines, par les caractéristiques du substrat et du climat. Les milieux naturels considérés connaissent une réelle sensibilité à l'érosion. C'est pourquoi, l'étude des relations entre la pluie, le sol, la végétation, la topographie et l'érosion s'avère nécessaire. . En effet, le développement des diverses formes d'érosion ainsi que la dynamique des versants dépendent largement des conditions bioclimatiques. Le risque d'érosion est essentiellement lié à l'agressivité climatique tandis que la sensibilité particulière des sols ne se situe que secondairement. Actuellement, ceci est attesté surtout par l'intervention massive de l'homme dans les milieux naturels, qui devient agent morphogénique direct et indirect du paysage. Ce qui intéresse principalement l'homme, ce sont ses possibilités agricoles. Néanmoins, tous les sols ne se prêtent pas à la vocation agricole dans cette zone rurale dont une proportion beaucoup plus restreinte peut être utilisée pour l'agriculture. Certains sols sont caillouteux, instables et manquent des éléments nutritifs dont les plantes ont besoin. Les activités des sociétés modifient d'une manière ou d'une autre le rôle des agents physiques et des processus biologiques dans les espaces qu'elles utilisent et aménagent, elles modifient leur poids relatif dans les systèmes morphogénétiques, qui sont devenus en quoi des systèmes anthropisés.

Il a été admis dès lors que les risques de perte en terres liés à l'érosion sont extrêmement importants. Les processus de dégradation des sols qui ont sculptés les versants sont beaucoup plus accentués aujourd'hui. Parmi les activités visées à surpasser les forêts dégradées et à réduire les effets de l'érosion, le reboisement occupe principalement la première place tandis que les pratiques anti-érosives sont encore largement insuffisantes. Ce facteur protège notamment le sol de l'érosion. Or, la régénération naturelle n'est pas encore effective ; les risques d'érosion sont plus importantes sur les versants non protégés par une couverture végétale qu'elle soit morte ou vivante. Les tentatives de repeuplement effectués par les parties prenantes sont déficiente à cause de la non maîtrise des techniques adéquates. Dans tout état de cause, l'érosion accélère les processus de désertification en impactant la végétation qui est déjà vulnérable. Toutes ces caractéristiques donnent naissance à des processus morphogéniques distinctifs de la zone rurale d'Arivonimamo. La combinaison des processus et facteurs liés entre-eux expliquent les formes de modelé des versants de la zone. Néanmoins, le phénomène de l'érosion se manifeste davantage dans certains endroits qui ont été

fortement anthropisés. Dans ce cas, l'équilibre de l'écosystème a été perturbé ; le paysage se transforme progressivement dans le temps et dans l'espace. L'augmentation de la population exerce une menace grandissante sur les milieux naturels. En effet, d'ici vingt ans, l'occupation exercée sur les sols peut modifier les caractéristiques naturelles des milieux. Certaines composantes sont susceptibles d'évoluer assez rapidement en particulier sous l'effet des diverses pressions ou du changement climatique.

D'une manière générale, il s'impose pour cette zone rurale de trouver des solutions dont la finalité est d'équilibrer le nombre de population avec les ressources naturelles et productives disponibles ; de valoriser les savoirs faire traditionnels ou connaissances endogènes pour que les ressources en sol soient viables et durables. Etant donné que les versants constituent la forme de relief la plus importante pour l'homme, leur évolution commande la pérennité de leurs activités que ce soit directement ou indirectement. Les sociétés doivent en tenir compte dans leurs projets et leurs actions des risques plus ou moins graves que représentent les milieux naturels et leurs composantes dont le sol en fait partie. Ce travail a donc permis d'appréhender les problèmes encourus par l'érosion dans la zone rurale d'Arivonimamo et de savoir prendre des décisions sérieuses, adéquates des ressources naturelles face aux divers facteurs et d'anticiper à long terme les risques qui pourraient être produits par le changement climatique.

Des recherches complémentaires sont donc nécessaires et devraient se focaliser sur l'analyse minutieuse des sols et sur l'aménagement des versants dans toute la région d'Arivonimamo. Ces recherches sont largement ouvertes pour que la génération future puisse profiter ultérieurement des potentialités des ressources naturelles.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANDRIAMALALA (M.R.), 2002, « *Facteurs climatiques et activités agricoles dans la région de Soavinandriana* », Mémoire de Maîtrise, Département de Géographie, Antananarivo, 140p.
2. BAGNOLI (P.), GOESCHL (T.), KOVACS (E.) 2008, " *People and biodiversity policies- impacts, issues and strategies for policy action* ", OECD Publishing France, 249p
3. BATTISTINI (R.) ; HOERNER (J.M) ; EQUIPES DES GEOGRAPHES DE L'UNIVERSITE DE TOLIARA, 1986, « *Géographie de Madagascar* », Ed. PARIS EDICEF, 187p.
4. BIDEV Madagascar Consulting, 2006, « *Elaboration de modèles de gestion durable des ressources naturelles au niveau des écosystèmes de forêts sèches et de forêts épineuses de Toliara* », Cellule de coordination - PNUD – PEIII, 124p
5. BONNEAU, 1979, « *Pédologie : constituants et propriétés du sol* », Ed. MASSON, Paris, 459p.
6. BOURGEAT (F.) ; SOURDAT (M.) ; TRICART (J.), 1979, « *Pédogenèse et morphogenèse d'après des exemples malgaches* »,in Madagascar Revue de Géographie n°35.51p.
7. BOURGEAT (F.), 1972, « *Sols sur Socle ancien à Madagascar : types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire* », Ed. ORSTOM, 335p.
8. BOURGEAT (F); AUBERT (G) , 1972, « *Les sols ferrallitiques à Madagascar* », Mad. Rev. Géol. Tananarive 140p
9. BRABANT (P.),1980 , « *Le sol des forêts claires du Cameroun ,TOME 1* »Ed .ORSTOM,530 p
10. CHEVALIER (A), 1922, « *La végétation à Madagascar* », Annales de géologie, n°174
11. CNRE, 2001, « *Évaluation environnementale du Plan d'Action pour le Développement Rural, Tome 1* », Premature - Plan d'Action pour le Développement Rural, 66 p.
12. COQUE.R., 1977, « *Géomorphologie* », Armand Colin, Paris, 430p.
13. CTFT, 1978, « *Bassins Versants de Madagascar : bilan de l'eau sous prairies naturelles et artificielles* »,CTFT ,55p.
14. DEMANGEOT (J.), 1976, « *Les espaces naturels tropicaux* », Ed. MASSON, Paris-New York, Barcelone- Milan, 190p.

15. DEMANGEOT (J.), 1976, « *Les espaces naturels tropicaux* », Ed. MASSON, Collection géographie, Paris- New York, Barcelone-Milan, 143 p.
16. DERRUAU (J), 1962, « *Précis géomorphologie* », Ed. Masson et Cie, Paris, 413 p.
17. DONQUE (G.), 1972, « *Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar* », Thèse d'Etat, Nouvelle Imprimerie des Arts Graphiques, 477 p.
18. DUCHAFOUR (P), 1979, « *Pédogenèse et classification* », Paris, 2è édition, T.1, 491 p.
19. DUCHAFOUR (P.) 1991, « *Pédologie, sol, végétation, environnement* », Ed. MASSON, Paris, 289 p.
20. DUFOURNET, 1972, « *Régimes Thermiques et Pluviométriques de différents domaines climatiques de Madagascar* », Ed. INRAT, Tananarive, 82 p.
21. DUTHIL (J.), 1970, « *Eléments d'écologie et d'Agronomie : Connaissance du milieu. Tome I* », Ed. J.B. PAILLIERE et FILS, 388 p.
22. FLAGEOLLET (J.C), 1988, « *Les mouvements de terrain et leur prévention* », Ed. MASSON, Paris, 224p.
23. FOURNIER (F.), 1960, « *Climat et érosion* », Ed.PUF, Paris, 194p.
24. GAUSSEN (H.), 1964, « *Géographie des plantes.* », Armand Collins, 211 p
25. GENTIL (A.), 2001, « *La gestion territoriale du développement durable à Madagascar* », Rapport de mission - FAO Madagascar, 60p
26. HERVIEU (J.) ,1975), « *Evolution du milieu naturel en Afrique et à Madagascar. L'interprétation paléoclimatique du quaternaire. Essai de synthèse. I : faits d'observation régionaux.* », ORSTOM, Paris, Initiation et Documents techniques n° 26 , 170 p.
27. HUMBERT.(H.), 1948, « *La dégradation des sols à Madagascar* »,in Mémoire de l'institut scientifique de Madagascar, série D-Tome I-Fascicule I, p34-52.
28. LAMPRECHT (H.) ,1981, “*Zusammensetzung und Aufbau tropischer Feuchtwälder-Holz aktuell.*” H. ,95p
29. MARCHAL (J.Y.) ; DANDOY (G.), 1972, « *Contribution à l'étude géographique de l'Ouest malgache* », Ed. ORSTOM ,162 p.
30. MICHELLON (R.), RAZANAMPARANY (C.) et al. (2004). « *Projet d'appui à la diffusion des techniques agro-écologiques à Madagascar* », Rapport de campagne 2002-2003. Hautes Terres et Moyen Ouest, CIRAD TAFE, 107p
31. MULDER (H.), IDOE (O.), 2004, “*Lavaka The 'hole' story - Analyses and design of an integrated bio-physical and Socio-economic ESWC management approach to the Lavaka phenomenon in Madagascar.* ”, Environmental Sciences, Wageningen University and Research,125p

32. RAHAJAMANANA (L.), 2008, « *Délimitation des zones à risques d'érosion et des mouvements de terrain entre Andasibe et Fanasana-ligne TCE* », Diplôme d'Ingénieur, Département de Géologie, Tananarive, 148 p.
33. RAISON (J.P), 1984, « *Les hautes terres de Madagascar et leurs confins occidentaux, Tome 1* », Ed. KARTHALA ; boulevard Arage Paris,651p
34. RAKOTOMANANA (J.L.), 1987, « *Climat, érosion et technique culturales sur les hauts plateaux de Madagascar* », Antananarivo : CENRADERU DRFP, 16 P.
35. RAKOTONANAHARY (T.C), 2008, « *Etude des relations entre la pluie, le relief, le sol, la couverture végétale et l'érosion dans la région de Mandraka* », Diplôme d'Ingénieur, Département des Eaux et Forêts à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Tananarive, 108 p.
36. RAKOTONDRAOMPIANA(S.A.),2005, « *La géodynamique de la partie Centrale de Madagascar* », Thèse, Département de physiques, Tananarive,194 p.
37. RAKOTOSON (E.) 1990, « *Modèles d'érosion pour l'aménagement de bassin versant* ». *Cas du bassin*
38. RALINIRINA (F.T.), 2005, « *Variabilité Interannuelle des pluies de la première moitié de la saison pluvieuse dans les régions climatiques Hautes-terres et Sud* », Mémoire de DEA, Département de Géographie, Tananarive, 115 p.
39. RASAMOELIARISOA (V.), 1985, « *Estimation de l'érosivité du climat à Madagascar* »Département des Eaux et Forêts, Etablissement d'enseignement supérieur des Sciences Agronomiques, Université de Madagascar, 89 p.
40. RASOANANDRASANA (F.), 2010, « *L'érosion du sol dans la commune rurale de Besalampy* », Mémoire de Maîtrise, Département de Géographie, Toamasina ,106p.
41. RASOLONIAINA (M .B.), 2005, « *Caractérisation des effets de différents systèmes de culture (semis direct sur couverture végétale et labour) sur la réduction du ruissellement et de l'érosion* », Diplôme d'ingénieur, Département à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Tananarive, 84 p.
42. RATSIVALAKA (S.) ; SERPANTIE (G.) ; GEORGES DE NONI ; ROOSE (E.), 2005, « *Erosion et Gestion Conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols* », Ed. Scientifiques G.B, AUF, 310p.
43. RAUNET (M.), 1997, « *Bilan et évaluation des travaux et réalisations en matière de conservation des sols à Madagascar* », CIRAD-CA ,157 p.
44. RAZAFINDRALAMBO (G .F.), 2008, « *La dynamique des paysages : cas des sites de reboisement dans la Commune rurale d 'Ambatomirahavavy* », Mémoire de Maîtrise, Département de Géographie, Antananarivo ,104p.

45. REMAMY (R.R.N.), 2005, « *Quantification des ruissellements et Erosions sur défriche des Hautes Terres de Madagascar : labour et semis direct sur couverture végétale permanente* », Diplôme d'Ingénieur à l'Ecole Supérieurs des Sciences Agronomiques, Tananarive, 91 p.
46. RUELLAN (A.) ; DOSSO (M.), 1993, « *Regards sur le sol* », Ed. Foucher, Paris Universités Francophones, 192 p.
47. SEGALEN (P.), 1977, « *Les classifications des sols, revue critique* », Ed. ORSTOM ,235p
48. SEGALEN (P.), 1979, « *Projet de classification des sols* », Ed. ORSTOM, France, 234p
49. SEGUIN (L.), 2004, « *Rapport de mission à Madagascar* », (du 19 mars au 10 avril 2004), CIRAD, 97p.
50. SERVICE GEOLOGIQUE, 1965, « *Carte géologique feuille O-46.* », Ministère de l'énergie et des mines, Antananarivo, Madagascar, 1 : 100 000.
51. SOURDAT (M.), 1977, « *Le Sud-ouest de Madagascar : morphogenèse et pédogenèse* », Ed. ORSTOM, 212p.
52. SOURDAT (M.), 1977, « *Le Sud-ouest de Madagascar: morphogenèse et pédogenèse* », Ed. ORSTOM Trav. et Doc., 211p.
53. TRICART (J.), CAILLEUX (A.), 1974, « *Le modelé des régions chaudes. Forêts et savanes. Traité de Géomorphologie, tome V* », Ed. SEDES, 345p
54. VEYRET (Y.), PECH (P.), 1993, « *L'homme et l'environnement* », Ed. PUF, Paris, 423p.

WEBOGRAPHIE

www.pnae.mg. Consulté le 10/06/16

<http://www.cites.org>. Consulté le 18 /08/16

<http://developpementdurable.revues.org>. Consulté le 14 /01/17

Www. Prim.net. Consulté le 06/02/17

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES :

ANNEXE I : Données climatiques d'Arivonimamo entre 1951 à 1980

	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Annuel
Jours des pluies	4,5	4,2	3,8	7,8	15	21,4	20,1	17,7	18,4	9,1	4,4	3,5	129,9
Précipitations (mm)	11,9	13,5	11,9	57,4	164	316,2	295,9	267	234,9	64	24,5	7,3	1476,7
Température moyenne (°C)	14	14,5	16,4	18,5	19,6	19,9	20	20,1	19,7	18,7	16,5	14,5	17,7
Moyenne des maxima (°C)	19	20,6	23	25,2	25,6	25	24,8	24,9	24,5	24,1	22,2	20,1	23,3
Moyenne des minima (°C)	8,3	8,5	9,8	11,7	13,6	14,8	15,3	15,2	14,8	13,3	10,8	8,8	12,1

ANNEXE II : Données climatiques d'Arivonimamo entre 2004 à 2014

	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Annuel
Précipitations (mm) (2005-2014)	9,7	3	6,9	36,22	167	252,6	380	274	224,4	67,4	15,8	5,4	1442,6
Température moyenne (°C)	15,5	16,7	17,6	20	20,1	20,8	22,5	21,7	21,4	20,6	17,7	16,6	19,26
Moyenne des maxima (°C)	20,9	22	24,3	26,2	27,4	27,2	27,1	26,3	26,1	26,2	23,4	21,8	24,9
Moyenne des minima (°C)	10,9	10,5	11	13,6	14,9	16,3	17,8	17,1	16,7	15	13,1	11,3	14,01

Source: Service de Météorologie Nationale d'Ampandrianomby)

ANNEXE III. Valeurs CPM des données pluviométriques de 2003 à 2014

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyennes mensuelles	281,2	228	180,6	56,28	15,8	5,12	4,64	4,26	2,72	63,62	170,8	246,2
Valeur CPM	2,68	1,93	1,72	0,5	0,2	0,05	0,04	0,04	0,03	0,6	1,68	2,35

Source : Exploitation des données météorologiques

ANNEXE IV. Comparaison des températures moyennes entre les périodes 1977-1981 et 2010-2014

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
T°moyenne (1977-1981)	20,68	20,28	20,12	19	17,36	16	15,3	15,8	16,38	19,2	20,07	20,5
T°moyenne (2010-2014)	21,23	21,51	21,36	19,81	17,93	16,43	16,28	16,2	17,52	20,6	21,4	21,3
Ecart	1,55	1,23	1,24	0,81	0,57	0,43	0,98	0,4	1,14	1,4	1,33	0,78

Source : Exploitation des données météorologiques d'Ampandrianomby

ANNEXE V. Bilan hydrique d'Arivonimamo

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	303	238	280	39	13	6	7	11	20	43	141	299
Et	82	81	70	86	77	74	77	85	99	113	109	93
V	0	0	0	-47	-64	-68	-70	-74	-79	-70	32	68
R	100	100	100	53	0	0	0	0	0	0	32	100
Rd	221	157	210	0	0	0	0	0	0	0	0	148

P : Pluie

Et : Evapotranspiration potentielle

V : Variation de réserve en eau du sol

R : Réserve en eau du sol

rd : Ruissellement + drainage

ANNEXE VI. Caractéristiques du climat d'Arivonimamo

Désignations Station	Arivonimamo
Latitude	48°17'
Altitude	1480m
Température moyenne annuelle	25,6°C
Température moyenne mensuelle du mois le plus frais	18°C
Température moyenne mensuelle du mois le plus chaud	28,7°C
Pluie moyenne annuelle	882mm
Nombre de mois secs	6-7 mois
Hygrométrie annuelle	65%
Insolation moyenne	2560 heures

Source : Service Météorologique d'Ampandrianomby

ANNEXE VII . Superficies forestières de la commune Arivonimamo II

Couverture végétale	Superficie
Forêt naturel	2000 ha
Forêt de reboisement	2ha
Forêt des particuliers	1000ha

Source : Monographie de la commune Arivonimamo(2014)

ANNEXE VIII : Description du profil pédologique

Les différentes dégradations et leur localisation

Nature de dégradation	Localisation
Erosion en nappe	
Erosion en griffes	
Erosion en ravine	
Lavaka	
Eboulement	
Glissement de terrain	

- Type de sol :

- Coordonnées géographique /Altitude :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Latitude											
Longitude											
Altitude											

Horizon	A	A/BC	BC
Epaisseur			
Couleur			
Texture			
Structure			
Cohésion			
Enracinement			
Porosité			
Perméabilité			

➤ Détermination de l'indice d'érodibilité K

Classification de la structure

1- Rapide

2- Moyenne à rapide

- 3- Moyenne
- 4- Assez lente
- 5- Lente
- 6- Très lente

Classe de perméabilité

- 1- Rapide
- 2- Moyenne à rapide
- 3- Moyenne
- 4- Assez lente
- 5- Lente
- 6- Très lente

➤ Fiche analytique

	Pourcentage		
Profil	Argile	Limon	Sable

Granulométrie	A	A/AB	BC	C
Argile (0,002mm)				
Limon fin (0,002-0,02mm)				
Limon grossier (0,02-0,05)				
Sable fin (0,05-0,2mm)				
Sable grossier (0,2-2mm)				

ANNEXE IX : Analyses granulométriques

➤ Méthodes densimétriques

une vitesse $V : \frac{2.r^2.(D_s - D_l)}{9. n}$

9. n

r : rayon des particules supposées sphériques

Ds et Dl : densités du solide et du liquide

n : viscosité du liquide

Les matériels et réactifs utilisés :

- Mixeur
- Cylindre jaugé de 1L
- Densimètre de Bouyoucos gradué en /l
- Thermomètre
- Hexamétaphosphate de sodium (Calgon) 5%
- Alcool amylique
- Chronomètre.

Calcul :

Soient :

L_{B40} la lecture après 40s de blanc

L_{B2h} la lecture après 2 heures de blanc

L_{40} la lecture après 40s de l'échantillon

L_{2h} la lecture après 2heures de l'échantillon

t°_{40} la température après 40s

t°_{2h} la température après 2heures

0.36 ($t^{\circ} - 20$) correction en température t° en $^{\circ}\text{C}$

$$\% \text{ sable} = 100 - 2[L_{40} - L_{B40} + 0.36 (t^{\circ}_{40} - 20)]$$

$$\% \text{ argile} = 2[L_{2h} - L_{B2h} + 0.36 (t^{\circ}_{2h} - 20)]$$

$$\% \text{ limon} = 100 - (\% \text{ sable} + \% \text{ argile})$$

Classement suivant la granulométrie

Diamètres	Texture	Classification	USA International
0-2 μm	Argile	<i>Clay</i>	Argile
2-20 μm	Limon fin	<i>Silt</i>	Limon
20-50 μm	Limon grossier	<i>Silt</i>	Sable fin
50-100 μm	Sable très fin	<i>Very fine sand</i>	-id.-
100-250 μm	Sable fin	<i>Fine sand</i>	-id.-
250-500 μm	Sable moyen	<i>Medium sand</i>	Sable grossier
0.5-1 mm	Sable grossier	<i>Coarse sand</i>	-id.-
	Sable très grossier		

1-2 mm	Gravier	<i>Very coarse sand</i>	-id.-
2-20 mm	Cailloux	<i>Stone</i>	
20-200 mm	Blocs		
>200 mm			

Tableau n°7 : Evolution de la superficie de la couverture végétale (en ha) à Arivonimamo

Type d'écosystèmes / habitats	Année	
	1990	2005
Forêts sclérophylles (Tapia)	1 265	1219
Savanes	109 232	109 509
Plantations d'eucalyptus	1 079	980
Plantations de pins	46	53
Savanes avec éléments ligneux	62 061	62 053
Mosaïque de cultures, jachères	69 162	70 651
Rizières	16 395	16 985
Total	259 881	259 881
Région	410 092	405 999
%	63	67

(Source : ONE - Traitement d'images satellites 1990 et 2005)

Tableau n°8 : Liste des espèces végétales introduites

Famille	Nom scientifique
Myrtaceae	<i>Eucalyptus robusta</i> , <i>Eucalyptus camaldulensis</i>
Pinaceae	<i>Pinus</i>
Fabaceae	<i>Acacia mangium</i> , <i>Acacia dealbata</i>
Fabaceae	<i>Acacia mangium</i>

(Source : Planète Urgence,2016)

ANNEXE X : Estimation des capacités des Lavaka

N°	Volume réelle (m3)	Pente en(°),(%)	Latitude	Longitude	Fokontany
1	4500	8°	19°02'26.1	47°07'42.6"	Amby
2	680	10°	19°01'58.0"	47°07'41.5"	Amby
3	841	12°	19°00'46.0"	47°08'07.6"	Amby
4	331	11°	19°00'46.0"	47°08'07.6"	Amby
5	572	8°	19°00'47.5"	47°08'07.4"	Amby
6	801	14°	18°59'55.7"	47°13'57.5"	Ankalalahana
7	19754	10°	18°57'54.2"	47°04'55.1"	Ankalalahana
8	3200	10°	18°59'42.7"	47°07'40.9"	Ankalalahana
9	156	10°	19°01'58.0"	47°07'41.5"	Vatolaivy
10	100	8°	18°57'22.7"	47°05'02.6"	Vatolaivy
11	102	10°	18°57'15.0"	47°05'12.5"	Kianjanarivo
12	123	13°	18°57'44.9"	47°04'53.7"	Kianjanarivo
13	3485	15°	18°57'52.1"	47°04'39.1"	Kianjanarivo
14	302	12°	18°58'00.2"	47°04'52.1"	Kianjanarivo
15	98	12°	18°57'54.4"	47°04'56.1"	Kianjanarivo
16	23205	12°	18°59'47.6	47°07'41.0"	Ambodifarihy
17	965	10°	18°56'42.9"	47°07'02.3"	Ambodifarihy
18	733	10°	18°56'57.5"	47°07'08.4"	Antsahavory
19	59	10°	18°56'56.7"	47°07'13.8	Antsahavory
20	2227	9°	19°00'48.5"	47°08'07.1"	Ambohipeno
21	540	9°	19°00'43.1"	47°08'42.1"	Ialaoa
22	201	10°	18°59'49.7"	47°09'05.7"	Ambohitrinilahy
23	75	10°	18°58'28.9"	47°11'20.3"	Ambohitrinilahy
24	798	10°	18°58'26.5"	47°11'18.6"	Antanetilava
25	50	9°	18°59'12.5"	47°13'38.2"	Antanetilava
26	49	12°	18°59'09.2"	47°13'45.244	Antanetilava
27	48	10°	18°59'13.8"	47°13'44.8"	Antanetilava
28	54	11°	18°59'14.0"	47°13'44.1"	Antanetilava
29	1337	11°	18°59'13.3"	47°13'40.1"	Antanetilava
30	1483	10	18°59'13.9"	47°13'40.6"	Antanety Est
31	61	12°	18°59'18.3"	47°13'44.5"	Antanety Est
32	6321	12°	18°59'26.3"	47°13'43.1"	Antanety Est
33	7196	10°	18°59'27.5"	47°13'43.1"	Antanety Est
34	10952	9°	18°59'30.9"	47°13'44.6"	Antanety Est
35	14604	11°	18°59'44.9"	47°13'57.1"	Antanety Est
36	10960	10°	19°00'30.8"	47°08'13.1"	Antanety Est
Moyenne	3500	10,75			

(source : auteur)

TABLE DES MATIERES

	PAGES
REMERCIEMENTS.....	i
RESUME.....	ii
SOMMAIRE.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES PHOTOS.....	viii
LISTE DES ANNEXES.....	ix
ACRONYMES.....	x
GLOSSAIRE.....	xi
INTRODUCTION.....	1

PREMIERE PARTIE

LOCALISATION DE LA ZONE ET DEMARCHES DE RECHERCHES

CHAPITRE I. LOCALISATION DE LA ZONE DE RECHERCHE.....4

I-1.1. Une zone de la partie Haute Terre Centrale de Madagascar 4

I-1.2. Choix du sujet 4

I-1.3. Les hypothèses de la recherche..... 7

CHAPITRE II. DEMARCHES DE RECHERCHES 7

II-1. Démarche adoptée 7

II-2. Les travaux de documentation 7

II-3. Les travaux de terrain 10

CHAPITRE III LES TRAVAUX DE LABORATOIRE15

III-1. Les analyses granulométriques 15

III-2. Les résultats des analyses 16

III-3. Problèmes et limites de la recherche 19

DEUXIEME PARTIE

LA ZONE RURALE D'ARIVONIMAMO : UN MILIEU NATUREL PLUS OU MOINS DEGRADE

CHAPITRE IV UN ENVIRONNEMENT DÉLICAT AUX

PHENOMENES EROSIFS20

IV-1 Les effets de la topographie20

IV.1.1. Un relief collinaire disséqué20

IV-1-2 Les pentes moyennes un peu plus marquées.....22

IV- 2. Les facteurs géologiques de l'érosion hydrique.....24

IV-2-1 Les facteurs gneissiques et migmatites.....24

IV-2-2 Les facteurs : cas des granites migmatitiques et migmatites granitoïdes.....26

IV-3 L'érodibilité du sol.....27

IV .4. Une Couverture végétale fragile et menacée 31

IV-5 L'influence du caractère contrasté du climat.....33

IV-5-1 L'agressivité des précipitations.....33

IV-5-2 L'importance de la température 38

CHAPITRE V. L'HOMME : AGENT MORPHOGENIQUE ET

DE DYNAMIQUE DIRECT DU PAYSAGE39

V-1 Un paysage anthropisé 39

V.1.1. Une forte occupation du sol..... 39

V-2 Des activités économiques dépendantes de la ressource naturelle 42

V-2-1 Les dynamismes des activités agricoles : principaux facteurs érosifs..... 42

V-2-2 L'exploitation forestière et aurifère informelle 45

CHAPITRE VI. LES ASPECTS DE L'ÉROSION SUR LES VERSANTS

DE LA ZONE RURALE D'ARIVONIMAMO.....47

VI-1. La partie Septentrionale : une zone caractérisée par l'érosion

en nappe et en rigole.....47

V.2 La partie Occidentale : marquée par le ravinement et l'érosion en Lavaka.....48

VI. 3 Les zones périurbaines : marquées par les chutes de blocs et

le glissement de terrain..... 50

TROISIEME PARTIE

L'ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES VERSANTS

ET LES IMPACTS DE L'ÉROSION HYDRIQUE DANS

LA ZONE DE RECHERCHE.

CHAPITRE VII UNE ÉVOLUTION NETTE AU NIVEAU DES VERSANTS.....52

VII -1 L'instabilité des versants sur les milieux dégradés 52

VII -2 Les conséquences de la mise en culture des versants56

VII- 3 Les pertes en terres au niveau des versants57

VII-4 Quelques coupes pédologiques expliquant le phénomène de

l'érosion hydrique.....59

CHAPITRE VIII. LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX65

VIII-1.Le déséquilibre du milieu écologique65

VIII-2.Risques d'inondation et ensablement des zones basses66

CHAPITRE IX LES SOLUTIONS PRISES PAR LES PAYSANS POUR LA

SAUVEGARDE DU MILIEU NATUREL.....71

IX-1 la sécurisation des écosystèmes naturels.....71

IX.1.1. Transfert de gestion de la forêt de Tapia à la communauté de Base..... 71

IX-1-2 Le reboisement.....72

IX.1.3.L'application de la courbe de niveau et la conservation du sol..... 74

IX-1-4 Les innovations agricoles77

IX-1.5. Les problèmes rencontrés pour le développement de la zone rurale

d'Arivonimamo.....78

CONCLUSION GENERALE.....80

BIBLIOGRAPHIE82